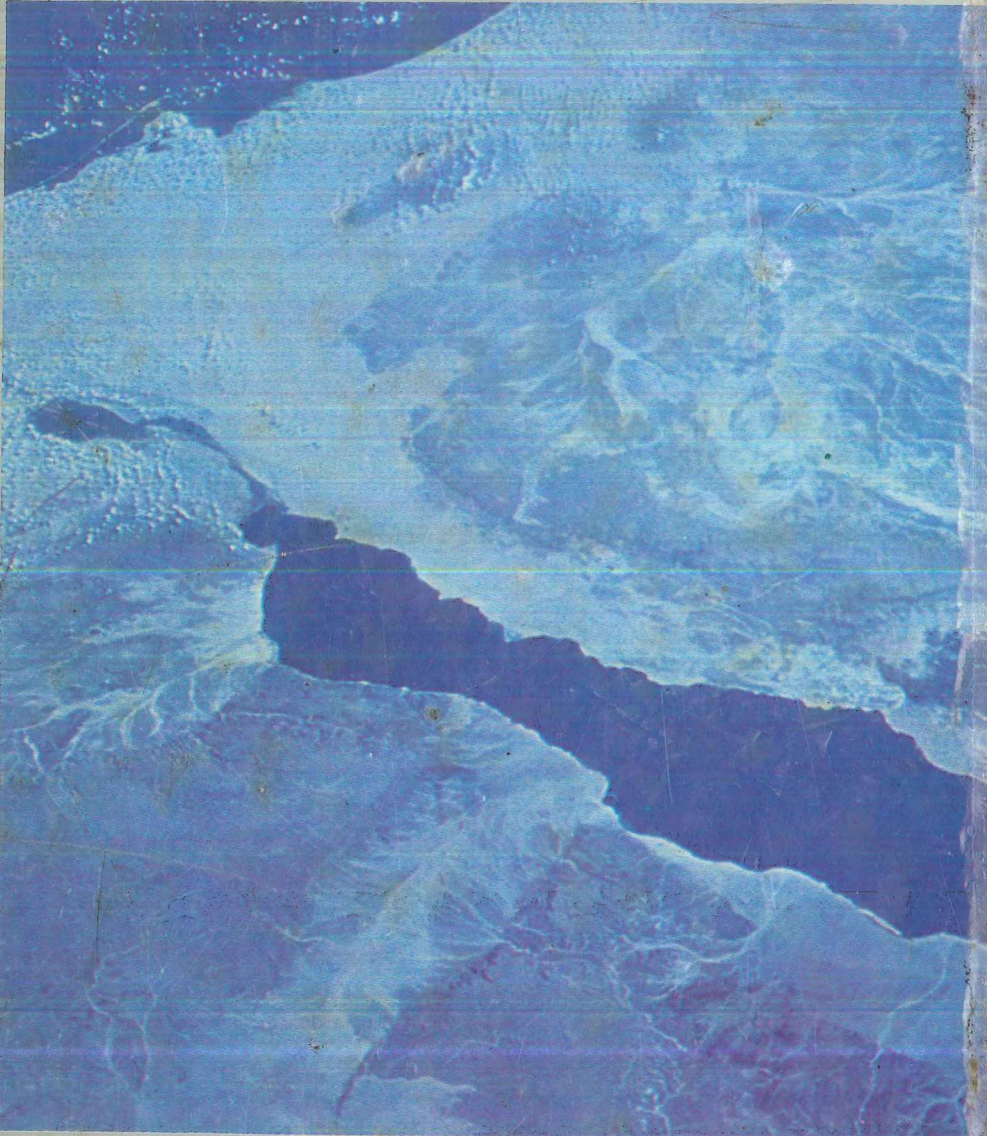


# الأرض

مقدمة للجيولوجيا الطبيعية



لوتجنز

ترجمة:

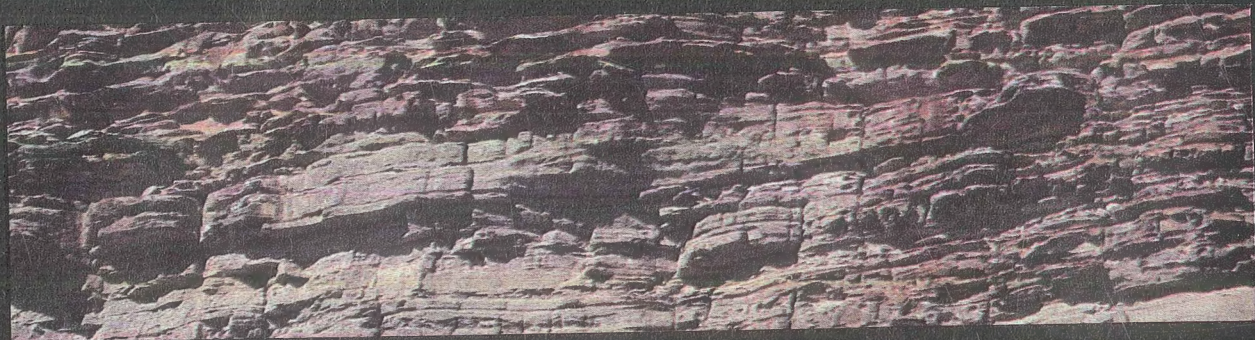
د. عمر سليمان حموده

د. البهلول على اليعقوبى

د. مصطفى جمعه سالم



# 6



الصخور الرسوبية



6





وحسب تقدير الجيولوجيين فان الصخور الرسوبية تشكل 5% فقط (من حيث الحجم) من الـ 16 كيلومترا الخارجية للقشرة الأرضية. ولكن أهمية هذه الصخور تفوق بكثير هذه النسبة الصغيرة التي تمثلها. وبمعاينة الصخور النابطة على سطح الأرض نجد أن معظمها من الصخور الرسوبية. وفي الواقع 75% من الصخور الظاهرة على اليابسة تصنف على أنها صخور رسوبية. ولهذا يمكن اعتبار أن الصخور الرسوبية تكوّن طبقة رقيقة ولكنها غير متصلة في الجزء الأعلى من القشرة الأرضية. وهذه الحقيقة يمكن فهمها على اعتبار أن هذه الصخور تتكون عند أو قرب سطح الأرض.

وبما أن الرواسب تتجمع عند سطح الأرض، فطبقات الصخور التي تنتج عنها تحمل الدليل على الوقائع التي حدثت هناك. والصخور الرسوبية بطبيعتها تحوى بين طياتها اشارات للبيئة التي ترسبت فيها أجزاؤها. وفي بعض الحالات تحتوى اشارات الى الطريقة التي تم بها الترسيب. ولهذا فمن مجموعة هذه الصخور يتحتم على الجيولوجيين وضع التصور لتفاصيل تاريخ الأرض.

وفي النهاية تجدر الإشارة الى أن كثيرا من الصخور الرسوبية مهمة اقتصاديا. فيصنف الفحم، مثلا، على أنه صخر رسوبي، بينما توجد مصادر الطاقة الأخرى الأساسية بالنسبة لنا كالنفط والغاز الطبيعي ملازمة للصخور الرسوبية وتقتل صخورا أخرى مصادر هامة للحديد والألومنيوم والمنجنيز والسماد ومواد عدة أساسية لصناعة البناء.

## أنواع الصخور الرسوبية

للمواد المتراكمة كرواسب مصدران أساسيان. أولا، قد تتجمع الرواسب كترامم لمواد نشأت ونقلّت صلبة كنتاج للتجوية الميكانيكية والكيميائية معا. وهذا النوع من الرواسب يسمى رواسب حثائية. والصخور التي تنتج عنها تسمى بالصخور الرسوبية الحثائية. ثانيا، ترسب المواد الذائبة الناتجة عن التجوية الكيميائية بواسطة العمليات

## أنواع الصخور الرسوبية

- الصخور الرسوبية الحثائية

- الصخور الرسوبية الكيميائية

## صيرورة الرواسب الى صخور رسوبية

### تصنيف الصخور الرسوبية

### ملامح الصخور الرسوبية

### المستحاثات

## مصادر الطاقة من الصخور الرسوبية

- الفحم

- النفط والغاز الطبيعي

- الطين النفطي

تشكل نواتج التجوية الميكانيكية والكيميائية المواد الخام للصخور الرسوبية. فكلمة رسوبية تشير الى طبيعة هذه الصخور لأنها تعنى مواد مترسبة في سائل، غير أن هذا لا يشمل كل الرسوبيات الا أن معظمها يترسب بهذه الطريقة. فيتم، باستمرار جرف القطع المجوة من الصخور ونقلها بعيدا، ومن ثم ايداعها في بحيرات ومجاري أنهار وبحار ومواقع أخرى لا حصر لها. فالجبيات التي في كتيب رملي بالصحراء، والطين الذي في قاع مستنقع، والحصى الذي يغطي قاع مجرى للمياه، وكذلك الغبار الذي يغطي أثاث غرفة المعيشة، كلها أمثلة لهذه العمليات المستمرة. وحيث أن تجوية الصخور ونقلها وتراكم نواتج التجوية هي عملية مستمرة، فان الرسوبيات توجد في كل مكان. وتتراكم كميات من الرواسب فان المواد التي فوق القاع تبدأ في التراص، وبمرور فترة زمنية طويلة تكون هذه الرواسب قد التحمت مع بعضها بواسطة مواد معدنية ترسب في الفراغات التي بين حبيباتها لتكوّن صخورا صلبا.

حجر تاييتسي الرملي الذي يتكشف في منطقة الجرانديت كانيون (الخدود الكبيرة).



العضوية واللاعضوية، وتعرف بالرواسب الكيميائية وتسمى الصخور الناتجة عنها بالصخور الرسوبية الكيميائية.

### الصخور الرسوبية الحبيبية

وبالرغم من وجود العديد من المعادن وفتات الصخور في الصخور الحبيبية، فان معادن الطفلة والكوارتز (المرو) تمثل المكونات الرئيسة لمعظم الصخور الرسوبية من هذا الصنف. تذكر أن معادن الطفلة هي المعادن الأكثر وفرة بين نواتج معادن السليكات المتعرضة للتجوية الكيميائية وعلى الأخص معادن الفلسبار. فمعادن الطفلة هي معادن دقيقة الحبيبات ذات بنية بلورية على هيئة رقائق تشبه رقائق معدن المايكا. أما المعدن الآخر المألوف، الكوارتز (المرو)، فهو وفير لأنه شديد المقاومة للتجوية الكيميائية. ولهذا عندما تتعرض الصخور النارية مثل الجرانيت لعمليات التجوية فان حبيبات المرو تصب حرة. كما تتواجد معادن أخرى في بعض الصخور الحبيبية مثل الفلسبار والمايكا. وحيث أن هذه المعادن تتغير بسرعة بفعل التجوية الكيميائية الى مواد جديدة، فان وجودها في الصخور الرسوبية يدل على أن عملية التجوية قد تمت بواسطة التجوية الميكانيكية بدلا من التجوية الكيميائية.

ويعتبر حجم الحبيبات هو المعيار الأساسي في التفريق بين أنواع الصخور الرسوبية الحبيبية المختلفة. ويبين الجدول 6-1 تصنيفات الحجم للحبيبات المكونة للصخور الحبيبية. لاحظ أن كلمة طين حسب استعمالها في هذا السياق تشير فقط الى حجم معين ولا تعني المعادن المسماة بنفس الأسم. ورغم أن معظم معادن الطفلة لها حبيبات بحجم الطفلة، الا أنه لا تتكون كل الرواسب التي هي بحجم الطفلة من معادن الطفلة المعروفة.

ويمكن في العادة ربط حجم الحبيبات في الصخور الحبيبية بطاقة الوسط الناقل لهذه الحبيبات. وتفرز تيارات الماء أو الهواء الحبيبات التي تنقلها حسب حجمها. فكلما كان التيار قويا كان حجم الحبيبات التي ينقلها كبيرا.

الحجر الطيني: الحجر الطيني هو صخر رسوبي يتكون من حبيبات الغرين والطفلة (شكل 6-1 أ). وهذه الصخور الحبيبية دقيقة الحبيبات تشكل ما يقدر بسبعين في المائة من كل الصخور الرسوبية. وحجم الحبيبات بهذه الصخور هو من الصغر بحيث لا يمكن التعرف عليها دون تكبير هائل (شكل 6-2). حيث أن الرواسب ليست مجهرية فحسب ولكنها أيضا منبسطة ومفلطحة فهي عادة ما توجد متراسة مع بعضها. ونتيجة لذلك لا يوجد متسع بين حبيباتها لمرور السوائل المحملة بالمواد اللاصقة. ولهذا فان الصخور الطينية عادة ما تكون رديئة التلاحم وتتفتت بسهولة. ورغم أن الصخور الطينية وفيرة الا أنها تعتبر من بين الصخور

جدول 6-1 تصنيف حجم الحبيبات للصخور الفتاتية

صخور فتاتية	حجم الحبيبات	اسم الحبيبات	مدى الحجم (بالمليمتر)
رصاص أو برشة	جرو	جلمود حجرة حصاة حبة	أكبر من 256 256 - 64 64 - 4 4 - 2
حجر رملي	رمل	رمل	2 - 1 / 16
حجر طيني أو حجر وحلي	وحل	غرين طفلة	2 - 1 / 256 اقل من 256 / 1

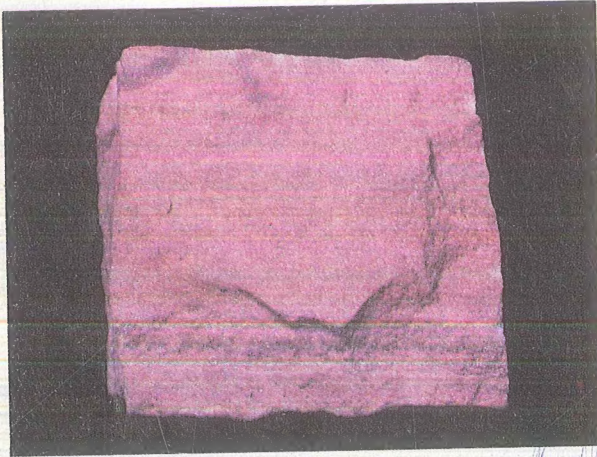


الطين لا بد أن يظهر قابليته للانفصال الى شرائح رقيقة على امتداد أسطح واضحة ومتقاربة، وعندما ينفصل الصخر على هيئة كتل أو قطع تستعمل كلمة الحجر الوحلي.

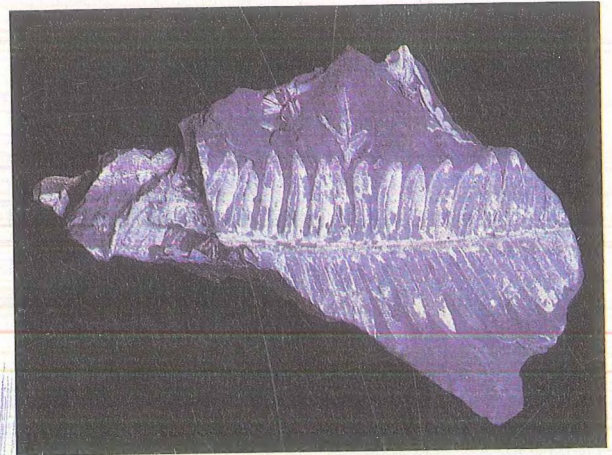
**الحجر الرملي:** الحجر الرملي هو الاسم الذي تسمى به الصخور التي تسود فيها الحبيبات ذات حجم الرمل (شكل 1-6 ب). ويأتي ترتيبه من حيث الوفرة بعد الحجر الطيني حيث يشغل ما يقرب من 20 % من كامل المجموعة. وفي معظم الصخور الرملية يسود معدن الكوارتز وفي هذه الحالة

الرسوبية التي لا يعرف عنها الا القليل. فالصخور الطينية لا تكون بروزات واضحة كما هو الحال بالنسبة للصخور الرملية والصخور الرسوبية الأخرى. هذا بالإضافة الى أن الطين يتجوى بسهولة ويكوّن غطاء من التربة يجلب الصخور التي تحته.

وتطلق كلمة طين عادة على كل الصخور الحثائية الدقيقة ولكن كثيرا من الجيولوجيين لديهم استعمال أكثر تحديدا لهذا اللفظ. وفي هذا الاستعمال الأكثر تحديدا، فان



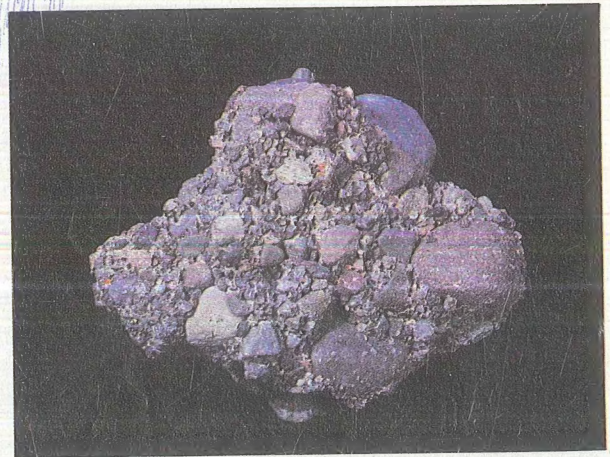
ب



ا



د



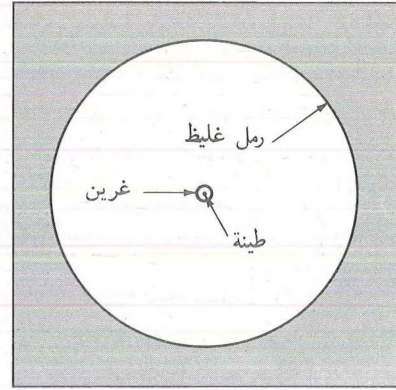
ج

شكل 1-6

الصخور الرسوبية الحثائية الشائعة. (أ) - حجر طيني. (ب) - حجر رملي. (ج) - رصيص (د) - بريشة.



من مواد كانت قد حملت الى البحيرات والبحار على هيئة محاليل. ولا تبقى هذه المواد مذابة في الماء الى الأبد حيث أن بعضها يترسب في صورة جزيئات تتراكم لتكوّن راسبا كيميائيا. وقد يحدث هذا الترسيب مباشرة نتيجة لعمليات غير عضوية أو بطريقة غير مباشرة نتيجة لعمليات حيائية للكائنات المائية. وتعرف الرسوبيات المكونة بالطريقة الثانية بأن لها أصلا كيميائيا حياتيا (شكل 6 - 3).



شكل 6 - 2

مقارنة بين أحجام ثلاثة أنواع من الرواسب الفتاتية. رغم قوة التكبير الى 65 مرة تقريبا فإن حجم حبة الطفلة يكاد لا يرى.

ومن أمثلة التراكم الناتج عن عمليات كيميائية غير عضوية، الأملاح التي تتركها المياه المالحة بعد تبخرها. وبالمقابل، تنتزع كثير من الحيوانات والنباتات المائية المواد المعدنية المذابة لتبنى أصدافا وأجزاء أخرى صلبة. وتتجمع هياكل هذه الكائنات بعد موتها فوق قيعان البحيرات والمحيطات.

الحجر الجيري: يعتبر الحجر الجيري أكثر الصخور الرسوبية الكيميائية وفرة حيث يمثل 15 % من حجم الصخور الرسوبية، ويتألف بصورة رئيسية من معدن الكالسيت (كالك أ3) الذي يترسب اما بطريقة غير عضوية أو نتيجة للطرق الكيميائية الحياتية. ويعتبر الحجر الجيري المكوّن بطريقة كيميائية حيائية أكثر شيوعا. ويرجع أن 30% من الحجر الجيري المتراكم في العالم قد تراكم نتيجة للترسيب الكيميائي الحياتي.

ورغم أن معظم الحجر الجيري ينتج عن العمليات الحياتية الا أنه لا يمكن التعرف دائما على أصله. ويرجع السبب في ذلك الى أن الأصداف والهياكل قد تتعرض لتغيرات كثيرة قبل أن تصبح صخورا. ومع ذلك فإن هناك حجرا جيريا ذا أصل كيميائي حياتي يمكن التعرف عليه بسهولة، هو الكوكينا، وهو عبارة عن صخر خشن مؤلف من أصداف وفتات صدف قليل التماسك. ومثال آخر أقل وضوحا ولكنه رغم ذلك مثال مألوف، وهو الطباشير (الجبص)، فهو صخر مكوّن في معظمه من الأجزاء الصلبة للمنخرات، وهي كائنات مجهرية لا يزيد حجمها على رأس الدبوس (شكل 6 - 4).

يسمى الصخر حجر الكوارتز (المرو) الرمل. فاذا احتوى الصخر على كمية مناسبة من الفلسبار فان الصخر يسمى أركوزا وتشير وفرة الفلسبار الى أن الرواسب قد تعرضت الى قدر قليل من التجوية الكيميائية. وفي النهاية هناك صنف ثالث من الصخور الرملية يعرف بالجرايواكي. بالإضافة الى احتواء هذا الصخر، غامق اللون، على الكوارتز (المرو) والفلسبار فهو يحتوى أيضا على وفرة من الكسر الصخرية المزواة وعلى الطفلة. ولأن حبيبات الجرايواكي تتميز برداءة فرزها فهو كثيرا ما يعرف بالحجر الرمل المتسخ.

الحجر الرصيصي: يتألف الحجر الرصيصي في معظمه من الجرول (شكل 6 - 1 ج). وكما يوضح الجدول رقم 6 - 1 يمكن أن تتراوح هذه القطع من الجلاميد الكبيرة الى حبيبات بحجم حبة بازلأ الجنائن. فالقطع الكبيرة عادة ما تكون قطعاً صخرية وعادة ما تمتلئ الفراغات التي بين حبات الجرول بالطفل والرمل ثم تلتحم الكتلة برومتها وتصير صخورا صلبا. فاذا كانت القطع الصغيرة مزواة بدلا من مدورة فان الصخر يسمى بريشة (شكل 6 - 1 د).

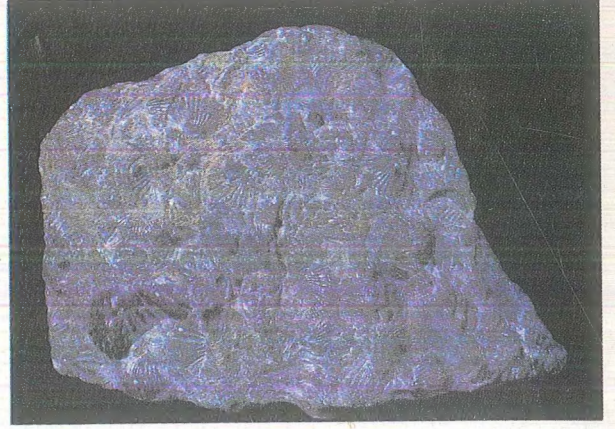
### الصخور الرسوبية الكيميائية

وخلافا للصخور الحثائية التي تتألف من النواتج الصلبة للتجوية فان الصخور الرسوبية الكيميائية تستمد



ويتكون الحجر الجيري ذو الأصل غير العضوى عندما يعمل التبخر أو ارتفاع درجة الحرارة على زيادة تركيز كربونات الكالسيوم الى الدرجة التى ترسب عندها. ومثال ذلك نوع الحجر الجيري الذى يترسب فى الكهوف عادة ويسمى ترافرتين، وكذلك الحجر العوينى. ويترسب الترافرتين عندما تتبخر المياه الجوفية المشبعة بكربونات الكالسيوم، أما ترسب الحجر الجيري العوينى فهو معقد نوعا. وهو يتألف من حبيبات كروية صغيرة تسمى العوينات ويتكون الحجر العوينى فى المياه الضحلة بتدريج جزئيات رقيقة جيئة وذهابا على قاع المحيط بفعل التيارات المائية ومن ثم تغلف بطبقات تتلوها طبقات من كربونات الكالسيوم.

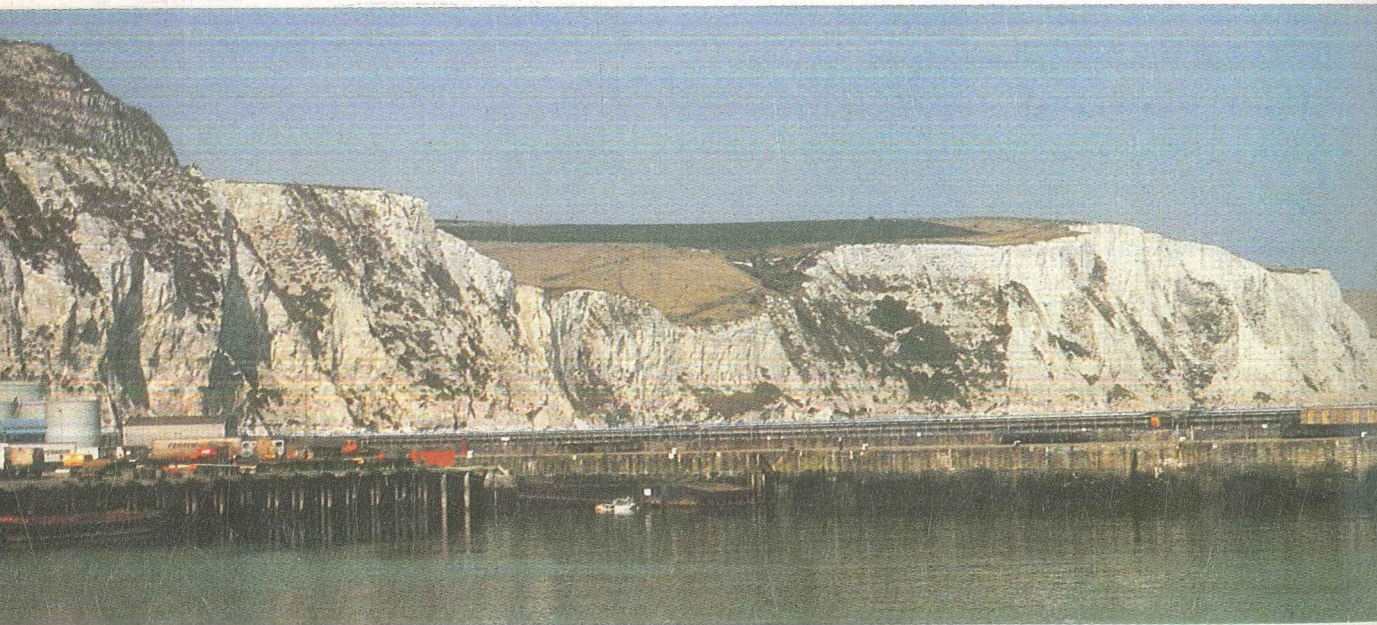
الدولوميت: والدولوميت له علاقة وثيقة بالحجر الجيري وهو صخر يتألف من معدن كربونات الكالسيوم والمغنيسيوم والتي تحمل نفس الاسم. واستعمال كلمة دولوميت لتدل على



شكل 6 - 3

هذه الصخور الرسوبية المكونة من الأصداف والفتات الصدفى لها اصل كيميائى حياتى واضح.

الفرق بين الكبريتات والكلوريد  
الكبريتات: (فوسفات)  
الكلوريد: (فوسفات)



شكل 6 - 4

جدران الجس الأبيض قرب مدينة دوفر.



الملح الصخري والجبس الصخري: غالبا ما تتكون الرواسب الكيميائية بواسطة عمليات التبخر. وتشمل المعادن المترسبة بهذه الطريقة الهاليت (كلوريد الصوديوم). وهو المكون الرئيسى للملح الصخري، والجبس (كبريتات الكالسيوم المائية). وهى المكون الرئيسى للجبس الصخري. وفى الماضى البعيد هناك أماكن كثيرة كانت تغطيها أذرع ضحلة من البحر، ما لبثت أن انقطعت عنه وأصبحت فيما بعد بحارا مغلقة، وذلك مثل بحر قزوين اليوم. وعندما يتبخر الماء يترك وراءه الأملاح على هيئة ترسبات بخيرية. وتعد هذه الترسبات اليوم مصدرا مهما لمواد كيميائية عديدة. وهناك ترسبات مماثلة يمكن رؤيتها فى أماكن مختلفة مثل وادى الموت بكاليفورنيا. فهناك تجرى الوديان من المناطق الجبلية المجاورة الى حوض مغلق وذلك عقب هطول الأمطار أو ذوبان الثلوج التى فوق الجبال. وعندما تتبخر المياه وتترك وراءها المواد المذابة على هيئة قشرة بيضاء فوق الأرض تسمى مسطحات الملح (شكل 6 - 5).

### صيرورة الرواسب الى صخور رسوبية

يدل التصخر على العمليات التى تصير عبرها الرواسب الى صخور رسوبية متماسكة. واجدى العمليات المؤثرة فى الرواسب والأكثر شيوعا تسمى بعملية التراص. وبتراكم الرسوبيات بمرور الزمن، يضغط وزن المواد اللاحقة على الرسوبيات السابقة. وعندما تنضغط الحبيبات الى بعضها يتناقص الفراغ الذى يفصلها تناقصا كبيرا. فمثلا عند ردم الطفلة تحت مواد يصل سمكها عدة آلاف من الأمتار فان تناقص حجم الطفلة قد يصل الى 40 % وحيث أن الرمال والرسوبيات الخشنة الأخرى هى قليلة التضغوط فان للتراص - كعملية تصخر - أهمية واضحة فى الصخور الرسوبية دقيقة الحبيبات مثل الحجر الطينى.

التلاصق: هو وسيلة أخرى هامة يتم خلالها انتقال الرسوبيات الى صخور رسوبية. تنتقل المادة اللاصقة على هيئة محلول بواسطة المياه التى تتخلل الفراغات المتاحة بين

كل من المعدن والصخر هو من الحالات النادرة ويستعمل بعض الجيولوجيين كلمة الحجر الدولوميتى، تجنباً للخلط بين معدن الدولوميت والصخر المكون منه. ورغم أن الدولوميت يترسب مباشرة من مياه البحر، إلا أنه يعتقد بأن معظمه ينشأ عندما يحل الماغنيسيوم فى مياه البحر محل بعض الكالسيوم فى الحجر الجيرى. وما يدعم هذه النظرية هو عدم وجود صخور حديثة من الدولوميت. ولكن معظم صخور الدولوميت تعتبر قديمة حيث يتوفر الوقت الكافى لاحتلال الماغنيسيوم محل الكالسيوم.

حجر الصوان: حجر الصوان أو الشيرت هو الاسم المستعمل لعدد من الصخور الصلبة وشديدة التراص المكونة من السليكا (س 2) مجهرية التبلر. وأحد الأنواع المعروفة هو الصوان (الفلت)، الذى يستمد لونه الغامق من المواد العضوية التى يحتويها. أما الجاسبر فهو نوع أحمر يستمد لونه الفاقع من أكسيد الحديد الذى يحتوى عليه.

وتوجد ترسبات الصوان عادة فى واحد من حالتين: اما على هيئة عجيرات غير منتظمة الشكل فى الحجر الجيرى أو على هيئة طبقات صخرية. ويعتقد بأن السليكا المكونة للعجيرات قد ترسبت مباشرة من مياه البحر، ولهذا فان للعجيرات أصلا غير عضوى. ومن المستبعد جدا أن تكون النسبة الكبيرة من طبقات الصوان قد ترسبت مباشرة من مياه البحر لأن مياه البحر عادة، تكون غير مشبعة بالسليكا. ولهذا فانه يعتقد أن طبقات الشيرت قد نشأت على هيئة رسوبيات كيميائية حياتية. ورغم أن معظم الكائنات المائية التى تنتج عنها أجزاء صلبة تفرز أصدافا مكونة من كربونات الكالسيوم إلا أن بعضها مثل المشطورات والشعاعيات تنتج هياكل شبه زجاجية من السليكا. وهذه الأنواع من الكائنات لها القدرة على انتزاع السليكا من محاليل غير مشبعة. وما يجب الاشارة اليه هو أنه عند فحص عينات من الصوان والذى قد يطلب منك عمله فى المعمل، فانه توجد مميزات قليلة جدا يمكن الاعتماد عليها فى تحديد نشأة الصوان (عضوى أو كيميائى حياتى).



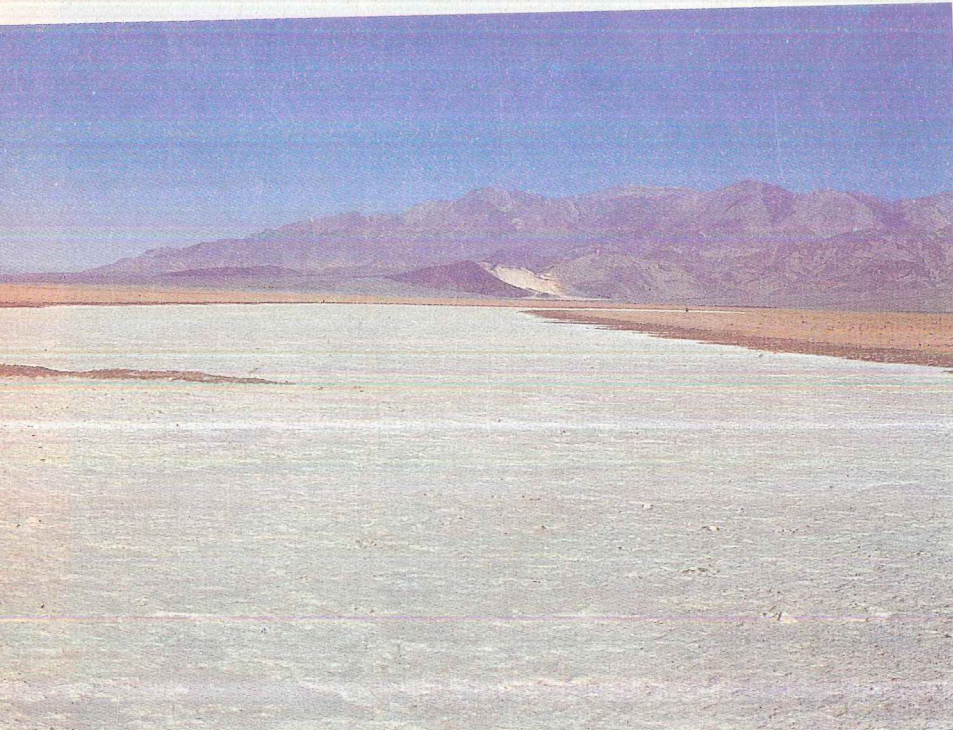
## تصنيف الصخور الرسوبية

تنقسم الصخور الرسوبية حسب التصنيف الذى يظهر فى الجدول رقم 6 - 2 الى مجموعتين رئيسيتين هما: الحتاتية والكيميائية. وبالإضافة الى ذلك نرى أن الصفة التى تصنف على أساسها الصخور الحتاتية هى حجم الحبيبات، بينما تصنف الصخور الكيميائية على أساس التركيب المعدنى.

وكما هو الحال بالنسبة لغالبية طرق التصنيف الخاصة بالظواهر الطبيعية، فإن التقسيمات الموضحة فى الجدول رقم 6 - 2 تعد أقل مرونة من أوضاعها الحقيقية. وفى الواقع، تصنف كثير من الصخور الرسوبية على أنها تتبع المجموعة الكيميائية فى الوقت الذى قد تحتوى فيه على كميات صغيرة من الرسوبيات الحتاتية. فمثلا تحتوى أنواع كثيرة

الحبيبات. وعبر الزمن، فإن ترسب المادة اللاصقة من المياه يملأ الفراغات المتاحة ويصل بين الحبيبات. ومن أهم المواد اللاصقة المعروفة الكالسيت والسليكا وأكسيد الحديد. ويعتبر تحديد المادة اللاصقة أمرا سهلا نسبيا. فلصقة الكالسيت تتفاعل مع حامض الهيدروكلوريك المخفف. أما لصقة السليكا فهى أصلب المواد اللاصقة، وهى بذلك تنتج أصلب الصخور الرسوبية. وحيثما يبدو لون الصخور الرسوبية برتقاليا، أو أحمر غامقا فإن ذلك يدل عادة على تواجد أكسيد الحديد. وفى بعض الحالات قد يكون للمادة اللاصقة فوائد اقتصادية مثال أكسيد الحديد.

ولو أن معظم الصخور الرسوبية قد تصخرت بفعل التراص أو التلاصق أو كلاهما فإن بعضها يتكون من بلورات متشابكة. وهذا النوع من التصخر مقصور على بعض الصخور الرسوبية المتراكمة كيميائيا.



شكل 6 - 5

رقع الملح هذه المؤلفة من الجبس وملح الطعام فى ديث فالى (وادي الموت) بولاية كاليفورنيا هى أمثلة لتراكمات الرواسب البخرية.



جدول 6 - 2  
تقسيم الصخور الرسوبية

الصخور الحتاتية

النسيج	اسم الراسب وحجم الحبيبات	ملاحظات	اسم الصخر
فتاتى	جرومل اكبر من 2 ملم	قطع صخرية مدورة	الحجر الرصيص
		قطع صخرية مزواة	بريشة
	رمل 16 / 1 - 2 ملم	يغلب المسرو	حجر رملى مروى
		مرو مع وفرة من الفلسبار	اركوز
		لون غامق، مرو، مع وفرة من الفلسبار والطفلة وقطع الصخور	قراى واكى
		ينفصل الى رقائى رقيقة	حجر طينى
		يتفتت الى عبايد أو كتل	حجر وحلى

الصخور الكيمائية

المجموعة	النسيج	التركيب	اسم الصخر
غير عضوى	فتاتى أو غير فتاتى	كالسيت كا ك أ <sub>3</sub>	حجر جيرى
	فتاتى أو غير فتاتى	دولوميت كا ما (ك أ <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>	حجر الدولوميت
	غير فتاتى	مرو دقيق البلورات كوارتز س أ <sub>2</sub>	شيرت
	غير فتاتى	هاليت ص كل	حجر الملح
	غير فتاتى	جبس كا كب أ <sub>4</sub> 2 يد أ	حجر الجبس
كيميائى عضوى	فتاتى أو غير فتاتى	كالسيت كا ك أ <sub>3</sub>	حجر جيرى
	غير فتاتى	مرو دقيق البلورات كوارتز س أ <sub>2</sub>	شيرت
	غير فتاتى	بقايا نباتات متغيرة	فحم



ويتراوح سمك الطبقات بين المجهرية وبين عشرات الأمتار. وتفصل الطبقات عن بعضها مستويات طبقية وهي سطوح منبسطة تنفصل أو تنقسم عبرها الصخور. ويمكن أن تنشأ المستويات الطبقة نتيجة للتغيرات التي تحدث في حجم الحبيبات أو في تركيب الرواسب المتراكمة. ويمكن أن يسبب التوقف في الترسيب واستئنافه مرة أخرى في تكوين طبقات، نظرا لأن الاحتمال ضئيل في أن تكون الرواسب اللاحقة مطابقة تماما لما سبقها. وغالبا ما يفصل المستوى الطبقي بين نهاية ترسب معين وبداية ترسب آخر.

وحيث أن الرواسب تتراكم عادة على هيئة جزئيات تتجمع من سائل، فإن معظم الطبقات تتراكم في وضع أفقي. ولكن هناك حالات لا تأخذ فيها الرواسب وضعاً أفقياً. وفي بعض هذه الحالات عندما نفحص طبقة رسوبية معينة نجد أن لها طبقية مائلة بزاوية كبيرة عن الوضع الأفقي. ويسمى هذا النوع من الطبقة **بالطبقية المتقاطعة** وهي خاصة توجد في الكتبان الرملية ودلتا الأنهار (شكل 6 - 7).

وقتل **الطبقية المتدرجة** نوعاً آخر خاصاً من أنواع الطبقة. وفي هذه الحالة يتغير حجم الحبيبات تدريجياً في طبقة رسوبية واحدة من حجم خشن عند القاع إلى حجم دقيق عند القمة. وقاتل الطبقة المتدرجة التراكم السريع من مياه تحتوي على رواسب ذات أحجام مختلفة. وعندما يفقد التيار المائي سرعته فجأة فإن الحبيبات الكبيرة ترسب أولاً وتتبعها بعد ذلك حبيبات أصغر فأصغر على التوالي. ويقترن وجود الطبقة المتدرجة عادة بتيار العكر، وهو حالة من الماء المحمل بالرواسب بحيث تزيد كثافته عن كثافة المياه الصافية ويتحرك إلى أسفل المنحدرات في قيعان البحيرات والمحيطات.

ويمكن استقراء أمور كثيرة من خلال فحص الجيولوجيين للصخور الرسوبية. فالرصاص مثلاً، يمكن أن يدل على بيئة ذات نشاط مرتفع، كما هو الحال بالنسبة للمجاري المائية السريعة، حيث لا يمكن أن ترسب سوى

من الحجر الجيري على كميات من الطين أو الرمل مسدية له صفة طينية أو رملية. وحيث أن في الصخور الحثائية مواد لاصقة كانت ذائبة في الماء، فإن هذه الصخور بعيدة كل البعد عن كونها نقية.

وكما هو الحال بالنسبة للصخور النارية التي نوقشت في الفصل الثالث، فإن النسيج يعتبر خاصية مهمة في تصنيف الصخور الرسوبية. وهناك نوعان رئيسان من النسيج مستعملان في تصنيف الصخور الرسوبية هما: النسيج (الفتاتي) والنسيج اللافتاتي. فكلية كلاستيك التي معناها مفتتة مأخوذة من الاغريقية، وبهذا فإن الصخور الفتاتية تتكون من قطع مفتتة. وبفحص الجدول رقم 6 - 2 يتضح أن كل الصخور الفتاتية تمتلك نسيجاً مفتتاً وبين الجدول كذلك أن بعض الصخور الكيميائية قد يظهر بها هذا النسيج. فمثلاً حجر الكوكينا أى الحجر الجيري المؤلف من الأصداق والقطع الصدفية يعتبر صخوراً ذات نسيج فتاتي مثله مثل الرصاص أو الحجر الرمل. وهذا ينطبق أيضاً على بعض أنواع الحجر الجيري العويني.

ولبعض الصخور الرسوبية الكيميائية نسيج لا فتاتي تظهر فيه المعادن على هيئة بلورات متشابهة. وهذا السبب فإن بعض الصخور اللافتاتية قد تبدو وكأنها أكثر شبهاً بالصخور النارية التي تتألف هي أيضاً من بلورات متداخلة. ولكن يمكن عادة التفريق بين الاثنين بسهولة نظراً لأن المعادن التي توجد في الصخور الرسوبية اللافتاتية مثل الكالسيت والهابليت والجيس تختلف تماماً عن المعادن التي توجد في الصخور النارية.

### ملامح الصخور الرسوبية

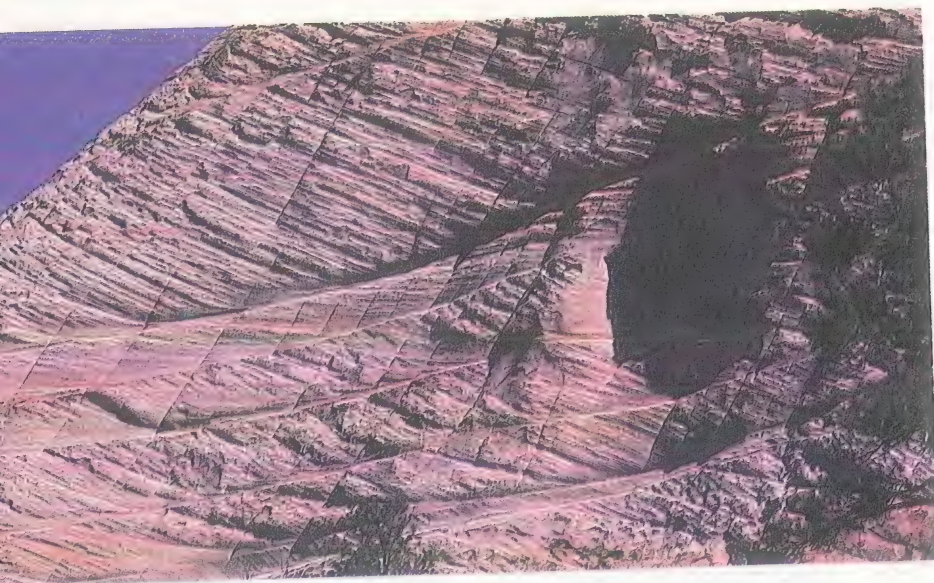
كما ذكرنا سابقاً، فإن للصخور الرسوبية أهمية خاصة في استنباط تاريخ الأرض. فهي تتكون عند سطح الأرض في طبقات وكل طبقة تسجل طبيعة البيئة التي ترسبت فيها وقت ترسبها. وهذه التراكبات التي تسمى طبقات تمثل الخاصية الوحيدة المميزة للصخور الرسوبية. (شكل 6 - 6).





شكل 6 - 6  
توضح هذه التكتشفات الرسوبية  
الطبقات المميزة لهذه المجموعة من  
الصخور





شكل 6 - 7

تشير الطبقة المتقاطعة لهذا الحجر  
الرملي الى أن هذا الحجر كان في يوم  
ما يمثل كتيا رمليا.



شكل 6 - 8

قطاع عرضي لمجرى مائي قديم يملؤه الرصيص. ففي بيئات الترسب ذات النشاط المرتفع، تترسب فقط  
المواد خشنة الحبيبات.



ومعرفة طبيعة هيئات الحياة التي كانت سائدة ، كما تساعد في الاجابة على الأسئلة التي تتعلق بالبيئة. والمستحاثات علاوة على ذلك، هي دلائل مهمة على الزمن، وهي تقوم بدور اساسى فى مضاهاة الصخور من مناطق مختلفة يجمعها زمن واحد.

وتشكل المستحاثات عدة أنواع. فبقايا الأحياء الحديثة نوعا قد لا تتغير بتاتا. وبعد وقت كاف من المتوقع أن تتحجر (بمعنى أنها تبدل الى حجارة). وهذا يعنى أن المادة الأصلية، مثل الخشب أو العظام، قد حل محلها مواد معدنية مترسبة من المحاليل الجارية خلال الصخور، وأن الفراغات قد ملأتها المعادن المترسبة (شكل 6 - 10 أ). وتشكل الانطباعات صنفا آخر شائعا من أصناف المستحاثات (شكل 6 - 10 ب). وفى بعض الأحيان قد تعمل الانطباعات عمل القوالب التى تملؤها الرواسب وتتصلب فيما بعد. وعندما تكسر الصخور، فإن كلا من الانطباع (القالب) والهيئة قد يعكس بأمانة الشكل والعلامات الخارجية للكائن الحى (شكل 6 - 10 د). وهناك نوع آخر من أنواع الاحاثية يترك غشاء رقيقا من الكربون. وهذه طريقة شائعة لحفظ أوراق النباتات والبقايا الرقيقة للحيوانات (شكل 6 - 10 د). هذا بالإضافة الى وجود عدد من أنماط الاحاثية الأخرى والتي يعتبر كثير منها آثارا لحياة ما قبل التاريخ.

وقتل المستحاثات المحفوظة جزءا ضئيلا فقط من الحيوانات التى عاشت عبر الماضى الجيولوجى. وعادة ما يكون الفناء الكامل مصير بقايا النباتات أو الحيوانات. فتحت أى الظروف يتم حفظها؟.. يبدو أن هناك شرطين لازمين لذلك، هما: - **الردم السريع** و**امتلاك أعضاء صلبة**. وفى العادة، عندما ينفق كائن حى تلتهمه الحيوانات القمامة أو يتحلل بواسطة البكتيريا، وأحيانا تغطى الرواسب بقايا الكائنات الميتة. وعندما يحدث ذلك يتم عزل هذه البقايا عن الظروف التى تسود فيها عوامل الفناء. ولذلك يعد الردم السريع شرطا من شروط الحفظ. هذا بالإضافة الى أن للكائنات فرصة أكثر لملاءمة

المواد الخشنة (شكل 6 - 8). وإذا كان نوع الصخور أركوزا فيمكن أن يشير ذلك الى مناخ جاف، حيث لا يحدث تغير كيميائى كبير فى معادن الفلسبار. أما الطين الكربونى فيدل على بيئة ذات نشاط منخفض غنية بالمعادن العضوية مثل ما يحدث فى المستنقعات أو فى الأهوار.

وتوجد فى الصخور الرسوبية ملامح أخرى تنبىء عن البيئات القديمة التى كانت سائدة. وأحد هذه الملامح هي علامات النيم. **وعلامات النيم** هي موجات رملية صغيرة تنشأ على سطح الطبقات الرسوبية بواسطة حركة الماء أو الهواء (شكل 6 - 9 أ). وتكون حروف علامات النيم متعامدة على اتجاه الحركة. فإذا كانت علامات النيم ناشئة عن حركة الماء أو الهواء فى اتجاه واحد فإنها تحدث أشكالاً **عديمة التماثل** وتكون جوانب علامات النيم التى فى اتجاه التيار أكثر انحدارا من جوانبها التى فى عكس اتجاهه. ومن أمثلة علامات النيم الناشئة عن التيارات، تلك التى تنتج فى مجارى المياه المتحركة عبر قنوات المياه الرملية، أو التى تنشأ عندما تهب الرياح فوق الكثبان الرملية. وتدلنا علامات النيم التى توجد فى الصخور المتصلبة على معرفة اتجاهات الرياح والمجارى المائية القديمة. أما علامات النيم المتماثلة فتسمى بعلامات نيم التآرجح. وهى تنشأ عادة من حركة الأمواج السطحية بحينة وذهابا فى المياه الضحلة القريبة من الشواطىء.

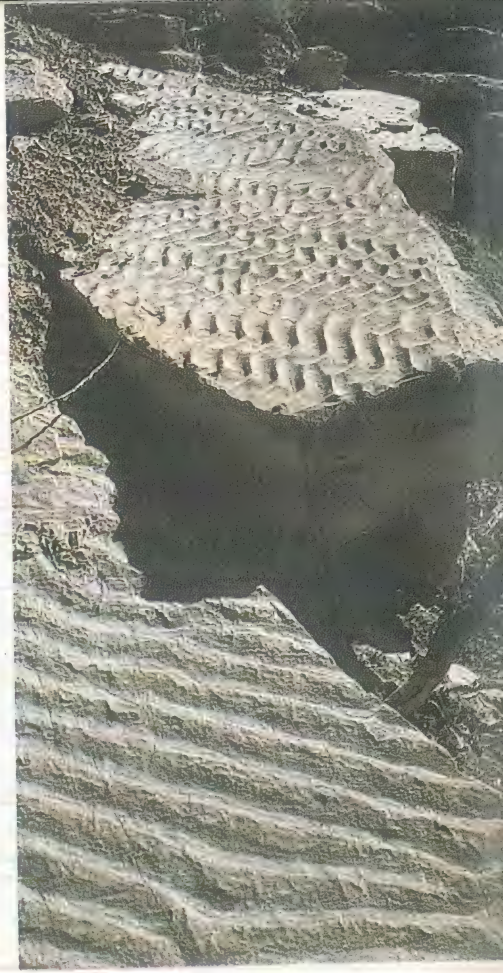
وتشير **تشققات الوحل** (شكل 6 - 9 ب)، على أن الرواسب التى تحتوها قد تعرضت لفترات متعاقبة من البلل والجفاف. وعندما يتعرض الوحل المبلل للهواء، فإنه يجف ويتقلص محدثا تشققات. ويدل وجود التشققات على بيئات معينة مثل البحيرات الضحلة والأحواض الصحراوية.

### المستحاثات:

تمثل المستحاثات، التى هي دلالات أو بقايا الحياة القديمة، أهم اللامح التى تتضمنها الصخور الرسوبية. فالمستحاثات وسائل هامة لاستنباط التاريخ الجيولوجى،



الفحم الحار من راس ساجد  
على مفرق لا القو قارو صرايح  
هضمت على صيات



ب

أ

شكل 6 - 9

أ - تنتج علامات النيم عدية التائل هذه عن التيارات المائية أو الهوائية. ب - تتكون التشققات الطينية عندما يجف الوحل أو الطفلة وينكمش.

الحفظ الكلى  
الحفظ الجزئى  
الحفظ الجزئى

فقط على معاينة عابرة للتنوع المتعدد لأشكال الحياة الأخرى التى لم تتوفر لها الشروط الخاصة الملائمة للحفظ.

### مصادر الطاقة من الصخور الرسوبية

يعتبر كل من الفحم والنفط والغاز الطبيعى الوقود الأساس لاقتصادنا الصناعى المعقد. وفى السنوات الحاضرة، لما أصبحت أزمة النفط تحتل الصدارة فى نشرات الأخبار العالمية، أصبح هناك اهتمام كذلك بهذه المصادر الحساسة للطاقة. فبالإضافة الى الزيادة المطردة فى انتاج واستعمال الفحم، قادت الأزمة الى الاهتمام المتجدد بتطوير مصادر بديلة للطاقة، وأحد هذه المصادر الطين النفطى،

للحفظ لتصبح جزءا من سجل المستحاثات اذا كانت تمتلك أجزاء صلبة. ورغم أنه توجد آثار وانطباعات لأجزاء الحيوانات الرخوة مثل قناديل البحر الهلامى والديدان والحشرات، الا أنها نادرة على أقل تقدير. وتتحلل اللحم عادة بسرعة لدرجة أن حفظها يعد مستبعدا. ويغلب على سجل الحياة القديمة الأصداف والعظام والأسنان وكذلك الأعضاء الصلبة المشابهة.

ونظرا لتوقف الحفظ على شروط خاصة، فان سجل الحياة فى الماضى الجيولوجى لا يمثل الواقع. أما بقايا المستحاثات لتلك الكائنات التى لها أجزاء صلبة والتى عاشت فى مناطق الترسيب فهى وفيرة جدا. ولكننا نحصل



يكون التحلل الجزئي لبقايا النباتات، في المستنقع غير المشبع بالأكسجين، طبقة من الخث. وهو مادة بنية رطبة يمكن رؤية التركيبات النباتية فيها بسهولة. وبقليل من الردم يتغير الخث الى اللجنيت. وهو فحم بنى رطب. وبالردم يزداد الضغط كما تزداد درجة الحرارة في هذه المواد. وتولد الحرارة المرتفعة داخل المواد النباتية مما ينتج عنه ماء وغازات عضوية (المواد المتطايرة). وكلما زاد الثقل فوق هذه المواد كلما ضغطت المياه والغازات وأجبرت على الخروج، فتزيد نسبة الكربون الخالص (المادة الأصلية القابلة للاحتراق). وكلما زاد محتوى الكربون كلما زادت قيمة الفحم كوقود. وخلال الردم يزداد تضغط الفحم. فمثلا يغير الردم العميق اللجنيت الى فحم أسود أكثر صلابة وأكثر تضغطاً يسمى الفحم القارى (البيتوميني). وقد لا تتجاوز طبقة من الفحم القارى عشر سمك طبقة الخث التى تبدلت عنها.

يعتبر كل من اللجنيت والفحم القارى صخوراً رسوبية، بينما يعتبر الناتج اللاحق المسمى انثراسيت (وهو فحم أسود شديد الصلابة) من الصخور المتحولة. ويتكون الانثراسيت عندما تتعرض الطبقات الرسوبية للطى والتشكل المصاحب لعمليات بناء الجبال. كما تسبب الحرارة والضغط الناتج عن بناء الجبال، فقدانا اضافيا للمواد المتطايرة والماء مما يؤدى الى زيادة في تركيز مادة الكربون. ورغم أن للانثراسيت احتراق نظيف كوقود، الا ان كمية تعدينه قليلة نسبيا. وهذا يرجع الى أن الانثراسيت ليس متوفرا بكثرة وأن استخراجه أصعب وأكثر تكلفة من طبقات الفحم القارى المنبسطة.

وقد بقى الفحم وقودا مهماً لعدة قرون. ففي القرن التاسع عشر وبداية القرن العشرين، كان الفحم القوة المحركة للنهضة الصناعية نظرا لوفره ورخص ثمنه. ويذهب اليوم 70% من الفحم المستعمل الى توليد الكهرباء. ورغم أن الفحم لا يحتل المرتبة الأولى في استعماله كوقود في الوقت الحاضر، الا أن استعماله سوف يزداد مستقبلا. ومما يحتمل العودة الى انتاج الفحم تضاول شحنات النفط وعدم الاعتماد على استمرارية هذه الشحنات في بعض الأحيان الى جانب

الذى كان يرد ذكره دائما كحل جزئى محتمل لمشاكل الطاقة لدينا. وفي الجزء التالى سوف نتعرض باختصار لهذه المصادر الهامة اللازمة للصخور الرسوبية.

### الفحم

يصعب تصنيف الفحم لاختلافه الواضح عن الصخور الرسوبية الأخرى. ورغم ذلك فانه غالبا ما يصنف مع الصخور الرسوبية العضوية. ولكن على العكس من أنواع الصخور الأخرى في هذه المجموعة، والتى هى غنية بالسليكا أو الكالسيوم، فان الفحم يتكون من المواد العضوية. ويوضح الفحم الدقيق لقطعة من الفحم تحت المجهر أو العدسة المكبرة، غالبا، وجود تركيبات نباتية متعددة مثل الأوراق واللحاء والخشب، والتى تبدو متغيرة كيميائيا ولكنها رغم ذلك يمكن التعرف عليها بسهولة. ان ذلك يعزز الاستنتاج القائل بأن الفحم هو المرحلة النهائية لردم كميات كبيرة من المواد النباتية لفترات طويلة.

ويضم الفحم الى النفط والغاز الطبيعى في اعتباره وقودا متحجرا. وتعتبر هذه الصفة مناسبة بالتأكيد، حيث اننا كلما حرقنا الفحم كلما استعملنا الطاقة الشمسية المخزنة في النباتات منذ ملايين السنين. فنحن حقا نحرق المستحاثات. والمرحلة الأساسية لتكوين الفحم هى تراكم كميات كبيرة من المواد النباتية. ولكن مثل هذا التراكم يتطلب شروطا خاصة نظرا لأن النباتات الميتة ما تلبث أن تتحلل عند تعرضها الى الجوّ الى بينات أخرى محملة بالأكسجين. وتعتبر المستنقعات واحدة من البيئات الهامة التى تسمح بتراكم المواد النباتية. وحيث أن مياه المستنقعات الراكدة فقيرة في الأكسجين، فان التحلل الكامل (التأكسد) للمواد النباتية غير ممكن. وبدلا من ذلك، فان أنواعا خاصة من البكتيريا تهاجم النباتات وتحلل المواد العضوية بها تحللا جزئيا، مما يسمح بتحرر الأكسجين والهيدروجين. وبخروج هذه الغازات يزداد تركيز الكربون تدريجيا. ولا تستطيع البكتيريا اتمام عملية التحلل، لأن الأحماض الناتجة عن النباتات تعمل على قتل البكتيريا.



الطبيعى، الفحم فى كونها نواتج حياتية مستمدة من بقايا الكائنات الحية. ولكن الفحم يستمد أساسا من المواد النباتية المتراكمة فى بيئة المستنقعات فوق مستوى سطح البحر، بينما يستمد النفط والغاز الطبيعى من بقايا الحيوانات والنباتات التى لها أصل بحرى.

ويعرّف النفط بعمليات معقدة غير مفهومة تماما. ورغم ذلك نحن نعلم بأن تراكم الرواسب يبدأ فى المناطق المحيطية الغنية ببقايا الحيوانات والنباتات. وتقع هذه التراكبات فى المناطق التى يزداد فيها النشاط الحياتى، مثل المناطق القريبة من الشواطئ. ولكن معظم البيئات البحرية غنية بالأكسجين الذى يسبب تحلل البقايا العضوية قبل أن تدفن تحت الرواسب. ولذلك فإن تراكم النفط والغاز الطبيعى غير منتشر انتشار البيئات البحرية التى تدعم النشاط الحياتى المكثف. ويتجاهل هذا العامل المحدد، فإن كميات كبيرة من المواد العضوية قد ردمت وعزلت من التأكسد فى كثير من الأحواض الرسوبية البحرية. وبالرغم من التزايد عبر ملايين السنين، تتحول التفاعلات الكيميائية تدريجيا بعض المادة العضوية الأصلية الى المادة الهيدروكربونية السائلة والغازية التى نسميها النفط والغاز الطبيعى.

والنفط والغاز الطبيعى هما مائعان متحركان على خلاف المادة العضوية التى استمدتا منها. وتفرز هذه الموائع تدريجيا من الطبقات المتراصة الغنية بالطين، حيث تتجمع فى الطبقات المجاورة المنفذة مثل الحجر الرملى حيث الفتحات التى بين حبيبات الرواسب كبيرة. وتتسبب الطبقات الحاملة للنفط والغاز الطبيعى بالمياه. ونظرا لأن كثافتها أقل من كثافة الماء، فإنها يصعدان الى أعلى عبر الفراغات المملوءة بالماء فى الصخور المحيطة. وإذا لم يكن هناك ما يعمل على إيقاف هذه الحركة الى أعلى فإن الموائع سوف تصل فى النهاية الى السطح وسوف تتبخر الأجزاء المتطايرة منها. وتسمى البيئة الجيولوجية التى تسمح بتراكم كميات مناسبة من النفط والغاز بمكامن النفط ورغم أن هناك عدة تركيبات

ارتفاع الأسعار. ومن الممكن التوسع فى إنتاج الفحم لأن هناك احتياطا عالميا ضخما.

ورغم أن الفحم يتمتع بميزة الوفرة إلا أن إنتاجه واستعماله يشكلان عددا من المشاكل. فيمكن أن يحول التعدين بالتجريد المناطق الريفية الى أراض مشوهة قحلة إذا لم يتم القيام بالاستصلاح الجيد والمكلف لارجاع الأرض الى حالتها الطبيعية. ورغم أن التعدين تحت الأرض لا يشبه المنظر السطحي للأرض، إلا أنه أكثر تكلفة من حيث الأرواح والضرر بالصحة. وتدهام حوادث التعدين ومرض الرئة السوداء أولئك الذين يعدنون الفحم تحت السطح.

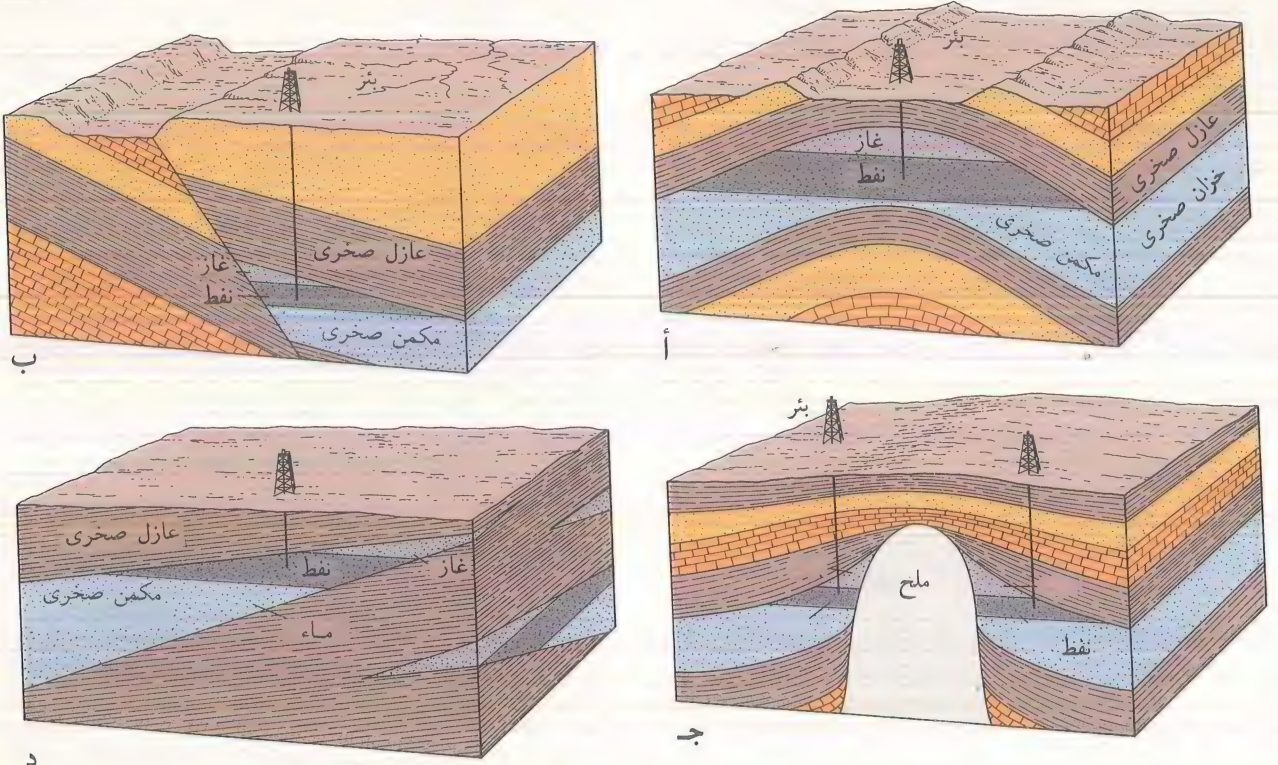
ويخلق تلوث الهواء المصاحب لاحتراق الفحم مشكلة كبيرة. إذ يحتوى كثير من الفحم على كميات لا بأس بها من الكبريت الذى يتحول عند احتراقه الى غازات أكسيد الكبريت المزعج. وعن طريق مجموعة من التفاعلات الكيميائية المعقدة فى الغلاف الجوى يتحول الى حامض الكبريتيك الذى يتساقط بعد ذلك على هيئة مطر أو ثلج. وقد يكون لهذا المطر الحامض آثار بيئية ضارة فى مناطق مترامية. ورغم الخطوات التى اتخذت فى الماضى والتى سوف تتخذ فى المستقبل، فإن الفحم لا زال يشكل تهديدا خطيرا للبيئة.

وحيث أنه ليس من المتوقع أن تحل المشاكل المذكورة دون الاستعمال المتزايد لهذا الوقود المهم والوفير فإن مجهودات ضخمة يجب أن تبذل لمعالجة المشاكل المصاحبة لتعدين واستعمال الفحم.

## 7- النفط والغاز الطبيعى

يوجد النفط والغاز الطبيعى فى ظروف مشابهة وعادة ما يكونان متلازمين. وكلاهما خليط لمواد هيدروكربونية، أى مركبات تتألف من الهيدروجين والكربون. وقد تحتوى أيضا على كميات ضئيلة من عناصر أخرى مثل الكبريت والنيروجين والأكسجين. ويشبه كل من النفط والغاز





شكل 6 - 11

مكمن النفط الشائعة. (أ) - حنيرة. (ب) - مكمن صدعى. (ج) - قبة ملحية. (د) - مكمن طبقي. (بئر) أو اختفاء للطبقات).

وكلاهما يتجمع فوق الماء الأكثر كثافة والذي يشبع الخزان الصخري. وأحد أكبر الحقول النفطية بالجزيرة العربية، النعلة، وهو عبارة عن مكمن تحدى وكذلك حقل التيسوط دووم بولاية وايومنغ الأمريكية. وتتكون مكمن الصدوع عندما تتزاح الطبقات بشكل يجعل خزاناً من الصخور المائلة قبالة طبقة غير منفذة كما يظهر في شكل (6 - 11 ب). وفي هذه الحالة يتم إيقاف هجرة النفط والغاز عند نطاق الصدع. أما في منطقة السهل الساحلى لخليج المكسيك، فتوجد تجمعات للنفط مصاحبة لقباب الملح. وفي هذه المناطق، التي تتميز بتراكبات سمكية للطبقات الرسوبية، فإنه قد اجبرت طبقات الملح الواقعة تحت أعماق كبيرة على الصعود في شكل أعمدة تحت ضغط الطبقات التي فوقها. وحيث أن النفط

جيولوجية تعمل عمل المكمن النفطى، كما سنرى، إلا أنه لا بد لجميعها من توفر شرطين أساسيين هما: خزان صخري مسامى ومنفذ يمكن أن يعطى نفطاً أو غازاً طبيعياً بكميات كافية لجعل عملية الحفر مجزية، وعازل صخري مثل الحجر الطينى الذى هو غير منفذ بتاتا للنفط والغاز، ويعمل العازل الصخري على منع النفط والغاز المتصاعد الى أعلى من التسرب الى السطح.

ويوضح شكل 6 - 11 بعض مكمن النفط والغاز الطبيعى الشائعة. وأحد أبسط المكمن هو الحنيرة. وهو عبارة عن مجموعة من الطبقات المقوسة (شكل 6 - 11 أ). فعندما تطوى الطبقات يتجمع النفط والغاز المتصاعدان عند قمة الطية. ونظراً لأن الغاز أقل كثافة فإنه يتجمع فوق النفط



الحقيقة، هناك كميات ضخمة من النفط تعد بعيدة المنال لأنها محجوزة في صخور تسمى بالطين النفطى. وحسب تقدير مصلحة المساحة الأمريكية، هناك أكثر من 3000 بليون برميل من النفط في الحجر الطينى، اذ يحتوى الطن الواحد من الطين النفطى 38 لترا من النفط الخام. ويعتبر هذا الرقم خيالاً لأن الذى يمكن انتاجه فعلاً بوسائل التقنية الحالية لا يزيد عن 200 بليون برميل. ويوجد نصف احتياطي العالم من الطين النفطى في تكوين جرين ريفر الذى يغطى مناطق من ولايات كولورادو ويوتا و وايومنغ. ففي هذه المنطقة، يشكل الطين النفطى جزءاً من طبقات رسوبية كانت قد تراكمت في قاع بحيرتين ضحلتين شاسعتين، يرجع تكوينهما الى 50 مليون سنة خلت.

وطين النفط هو صخر رسوبى دقيق الحبيبات يحتوى على كمية من المواد العضوية كافية لانتاج 38 لترا من النفط الخام للطن الواحد على الأقل. ورغم وجود عدد آخر من الصخور الطينية الغنية بالمواد العضوية والتي تحتوى على بعض المواد النفطية الا أن محتوى هذه الصخور من المواد النفطية ردىء لدرجة أنها لا تعتبر من الطين النفطى.

وفي الحقيقة لا يحتوى الطين النفطى على النفط المتعارف عليه، بل يحتوى على مادة هيدروكربونية شمعية تسمى كيروجين. وعند تسخين الكيروجين الى درجة 480°م يتحلل هذا الخليط الصلب المعقد لمركبات الكربون وينتج عنه مواد هيدروكربونية وبقايا كربونية. وبعد التبريد، تتكثف المواد الهيدروكربونية الى سائل يسمى نفط الطين. ويمكن احراق النفط المستمد من الطين في مارجل، أو يمكن بالتكيف المناسب (والمكلف) تحسينه لاستعمالات أخرى.

ورغم أن هناك مشاريع تجريبية لاستخراج نفط الطين قائمة لعدة سنوات، الا أنه لا توجد أى محاولات جادة لاستغلال هذا المصدر الكبير استغلالاً اقتصادياً. والسبب الرئيسى الذى يمنع تطوير هذا المصدر يرجع الى عدم قدرة الطين النفطى على المنافسة الاقتصادية للمصادر المعروفة.

والغاز يصعدان الى أعلى مستوى ممكن، فانها يتجمعان في طبقات الحجر الرملى المقلوبة الى أعلى بمحاذاة عمود الملح (شكل 6 - 11 ج). وهناك أيضاً ظروف جيولوجية هامة قد تؤدي الى تراكمات قيمة من النفط والغاز الطبيعى تسمى المكامن الطبقة. وتنتج هذه التركيبات الحاملة للنفط مبدئياً من التوزيع الأصيل للترسيب بدلا من التشكل التركيبى. وقد تكون المكامن الطبقة الموضح في شكل 6 - 11 د، لأن طبقة الحجر الرملى المائلة يتضاءل سمكها حتى تختفى تماما. وعندما تخرق آلة الحفر الغطاء الذى تكونه الصخور العازلة للنفط، يصعد النفط والغاز اللذان تحت ضغط من داخل الحزان الصخرى الى فجوة البئر. وفي الحالات النادرة قد يصعد النفط في البئر فوق سطح الأرض مدفوعاً بضغط الموائع. وفي العادة قد يتطلب رفع النفط الى السطح استعمال المضخات الغاطسة.

ولا تمثل الآبار الوسيلة الوحيدة لخروج النفط والغاز الطبيعى من مكمنه. اذ يوجد ايضا عوامل طبيعية تعمل على ثقب المكامن النفطية. فمثلاً، قد تسبب الحركات الأرضية في احداث تشققات تسمح بتسرب الموائع الهيدروكربونية. كما أن هناك نتائج مشابهة تنجم عن ثقب مكمن بواسطة التعرية السطحية. وكلما كانت الطبقات الصخرية أقدم كلما كان هناك احتمال أكبر لتأثر المكامن بالتشكيل أو بالتعرية. وفي الحقيقة، لا تعطى كل أعمار الصخور نفس القدر من النفط والغاز. اذ يأتي أكبر انتاج للنفط من أحدث الصخور عمراً وتلك هى صخور الحين الحديث. أما صخور الحين المتوسط الأقدم عمراً فان انتاجها أقل بكثير ويتلوها كميات أقل بكثير مستمدة من طبقات الحين القديم التى هى أقدم عمراً. ولا يوجد انتاج يذكر من الصخور الأكثر قدماً وهى صخور ما قبل الكامبرى.

### الطين النفطى

في الماضى القريب تم اقتراح تطوير مصادر الطين النفطى كحل جزئى لمشكلة التذبذب في موارد الوقود. وفي



النفطى. كما يشكل التخلص من الكميات الضخمة لنفايات الطين الناتجة عن عملية استخراج النفط منه، مشكلة أخرى خطيرة ومستعصية.

هذا بالإضافة الى ما يتطلبه انتاج النفط الطينى من كميات هائلة من المياه التى تعد مادة نادرة فى الأماكن ذات المناخ الجاف، والتى يوجد بها الاحتياطى الضخم الغنى بالطين

## أسئلة

### للمراجعة :

- 1 - ما هو وجه المقارنة بين حجم الصخور الرسوبية وحجم الصخور النارية فى القشرة الأرضية؟ هل تتوزع الصخور الرسوبية بالتساوى فيها؟
- 2 - ما هى المعادن الأكثر وفرة فى الصخور الرسوبية الفتاتية؟ لماذا تكون هذه المعادن وفيرة لتلك الدرجة؟
- 3 - ما هو المبدأ الأساسى للتمييز بين أنواع الصخور الرسوبية الحتاتية؟
- 4 - يمكن استعمال كلمة طفلة بمعنيين. اشرح هذين المعنيين لهذه الكلمة.
- 5 - لماذا يتهشم الحجر الطينى بسهولة بالغة؟
- 6 - ميز بين الرصيص والبريشة.
- 7 - ميز بين صنفى الصخور الرسوبية الكيمائية؟
- 8 - ما هى الرواسب التبخرية؟ اذكر اسم صخر من الصخور التبخرية.
- 9 - فى أى حجم من الرواسب تعتبر عملية التراص من عمليات التصخر الهامة؟
- 10 - اذكر ثلاثة مواد لاصقة للصخور الرسوبية. كيف يمكن التعرف على كل منها؟
- 11 - ما هو المبدأ الأساسى للتمييز بين أنواع الصخور الرسوبية المختلفة؟
- 12 - ميز بين النسيج الفتاتى والنسيج غير الفتاتى. ما هو النسيج المشترك بين جميع أنواع الصخور الرسوبية الحتاتية؟
- 13 - ما هى الصفة التى قد تعتبر الأكثر تمييزا لجميع الصخور الرسوبية؟
- 14 - ميز بين الطبقة المتقاطعة والطبقة المتدرجة.
- 15 - كيف يختلف الفحم عن بقية الصخور الرسوبية الحياتية؟
- 16 - كيف يختلف الفحم القارى (بيتومين) عن اللجنيت؟ وكيف يختلف الانثراسيت عن الفحم القارى (بيتومين)؟



17 - يتمتع الفحم بميزة الوفرة. ما هي بعض المساوئ التي تصحب انتاج واستعمال الفحم كوقود؟

18 - ما هو ممكن النفط؟ اذكر شرطين مشتركين لكل المكامن النفطية؟

19 - كثير من الصخور الطينية الغنية بالمواد العضوية لا تسمى الطين النفطي، لماذا؟

20 - رغم أن عدداً من دول العالم بها رواسب ضخمة للطين النفطي، إلا أن نفط الطين لا يستغل تجارياً. اشرح ذلك؟

chemical sedimentary

rocks

beds

graded bedding

cross bedding

ripple marks

nonclastic

clastic

fossil

bedding plane

salt flat

oil trap

صخور رسوبية كيميائية

صخور

طبقات

طبقة متدرجة

طبقة متقاطعة

علامات تموج

غير فتاتي

فتاتي

مستحاثات

مستوى طبقي

سطح ملحي

مكامن نفطية

## الكلمات الدالة :

mud crack

compaction

lithification

cementation

detrital

evaporite deposit

strata

reservoir rock

cap rock

detrital sedimentary rocks

تشققات الطين (الوحد)

تراص

تصخر

تلصيق

حتاتي

رواسب تبخرية

طبقات

صخر خازن

صخر عازل

صخور رسوبية حثائية



# 7



الصخور المتحوّلة



7





## التحول

### عوامل التحول

- الحرارة كعامل للتحول

- الضغط كعامل للتحول

- النشاط الكيميائي والتحول

التغيرات النسيجية والمعدنية

الصخور المتحولة الشائعة

- الصخور المتورقة

- الصخور عديمة التورق

تواجد الصخور المتحولة

- التحول على امتداد الصدوع

- تحول التماس

- التحول الشامل

التحول وحركة الألواح

## التحول

يعني التحول

تتضمن عمليات التحول تبديل الصخور السابقة.

ويمكن أن تنشأ الصخور المتحولة من صخور نارية أو صخور رسوبية أو صخور متحولة أخرى. والمصطلح المستعمل لهذه العملية هو مصطلح مناسب جداً لأنه يعنى حرفياً تغير الهيئة. وعوامل التغير هذه تشمل: الحرارة والضغط والمحاليل النشطة كيميائياً، أما التغيرات التي تحدث فتشمل النسيج والتركيب المعدني.

ففي بعض الحالات يكون التغير الذي يطرأ على الصخور المتحولة طفيفاً جداً وجزئياً، بحيث تصبح الصخور أكثر تبلراً ويزداد تراصها، مع احتفاظها بخصائصها الأصلية. أما في حالات أخرى فإن التحول في خصائص الصخر الأصلية يكون كاملاً لدرجة يستحيل معها التعرف

شست فيشنو، صخور متحولة يرجع عمرها الى

ما قبل الكامبري كما تظهر في المضيق

الداخلي للأخدود الكبير (جراند كانيون) بأريزونا.

على نوع الصخر الأصلي. إذ تختفى جميع الملامح مثل مستويات الطبقات والمستحاثات والثقوب التي كانت موجودة في الصخور الأصلية. وعلاوة على ذلك فإن الصخور عندما تتعرض لعوامل التحول من حرارة وضغط شديدين تصبح لينة وربما تنشنى على هيئة طيات منمقة (شكل 7-1). ففي بيئات التحول العالية ترتفع الحرارة الى درجة انصهار الصخور، غير أنها تبقى متماسكة في مراحل التحول المختلفة أما اذا انصهرت نهائياً فانها تدخل في نطاق النشاط الناري لتصبح صخوراً نارية.

وسبب عملية التحول هو تعرض الصخور الى ظروف تختلف عن تلك التي نشأت فيها، مما يؤثر في التركيب المعدني الذي تطرأ عليه تغيرات كيميائية وطبيعية تتلاءم والظروف الجديدة. وتحدث التغيرات في أعماق الأرض تحت نطاق التجوية وفوق نطاق الانصهار. وحيث أن نشأة الصخور المتحولة تتم بعيداً عن الأنظار، وهي في هذا تختلف عن كثير من الصخور الرسوبية وعن بعض الصخور النارية، فإن التحول يشكل أصعب المواضيع دراسة بالنسبة للجيولوجيين.

ويحدث التحول عادة في واحدة من ثلاث حالات: الأولى، أثناء بناء الجبال، حيث تتعرض كميات كبيرة من الصخور لضغط وحرارة شديدين مصاحبين لمثل هذا التشكل واسع النطاق. وقد تكون النتيجة النهائية عبارة عن مناطق شاسعة من الصخور المتحولة والتي يقال بأنها قد تعرضت الى تحول اقليمي. وينتج عن هذه الطريقة أكبر حجم من الصخور المتحولة. والثانية، عندما تكون الصخور ملاصقة أو مجاورة لكتلة من الصهير في درجة حرارة عالية، فانه يحدث لها تحول نتيجة تماسها مع كتلة الصهير الساخنة. وتنتج التغيرات بصورة رئيسية من جراء درجات الحرارة العالية للصهير، والتي تعمل على تسخين الصخور المجاورة، فينتج عن ذلك صخور متحولة. ويعرف مثل هذا التحول بتحول التماس. والحالة الثالثة وهي الأقل شيوعاً من حالات التحول، تتم على امتداد الصدوع. وهنا يتم قطع الصخور وسحقها بفعل تطاحن الكتل الصخرية عند انزلاقها قبالة





شكل 7 - 1

صخور ذات طيات منمقة في جزيرة كاباج يمين.

عندما تخرقها مواد منصهرة آتية من أسفل. ويكون تأثير تحوّل التماس أكثر وضوحا عندما يحدث عند أو قرب سطح الأرض، حيث يكون الفرق شاسعا في درجات الحرارة بين الصخور المخترقة التي في درجة انصهار وبين الصخور المخترقة. وهنا يحدث شيء للصخور الملاصقة بواسطة الصهير المنذفع. وبما أن ذلك يحدث في أعماق ضحلة، فإن بيئة تحوّل التماس توصف بالبيئة شديدة الحرارة وقليلة الضغط وفي هذه الحالات فإن الحد الفاصل بين الجسم الناري المخترق والصخور المتحوّلة يكون واضحا تماما.

ويمكن أن تتعرض الصخور المتكونة عند سطح الأرض أيضا إلى حرارة فائقة عندما تدفن في أعماق الأرض. تذكر أن الحرارة تزداد بازدياد العمق بمعدل يعرف بالتدرج الحراري. ويبلغ متوسط هذه الزيادة في الجزء العلوي من القشرة 30° م لكل كيلومتر. وكما ذكرنا سابقا فإن مواد الأرض تنقل إلى أعماق كبيرة عند حواف الألواح المتقاربة. أما عندما تدفن إلى عمق عدة كيلومترات فقط، فإن بعض

بعضها البعض، الذي يولد حرارة وضغط يعملان على تحوّل الصخور المجاورة للصدع.

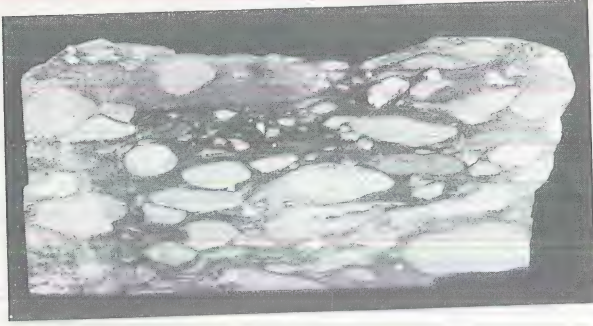
## عوامل التحوّل

وكما أشرنا سابقا، فإن عوامل التحوّل تشمل الحرارة والضغط والسوائل النشطة كيميائيا. وخلال عملية التحوّل تتعرض الصخور عادة إلى الثلاث عوامل مجتمعة. ولكن تختلف درجة التحوّل، ومساهمة كل عامل، اختلافا كبيرا من منطقة إلى أخرى. ففي التحوّل الخفيف تتعرض الصخور المكونة عند سطح الأرض لحرارة وضغط أكثر بقليل مما هو سائد في البيئة السطحية، ومن ناحية أخرى، فالتحوّل الشديد يتم تحت حرارة وضغط قريبين من تلك التي تسبب انصهاراً في الصخور.

## الحرارة كعامل للتحوّل

لعل من أهم عوامل التحوّل هي الحرارة. فقد تتعرض الصخور المتكونة قرب سطح الأرض إلى حرارة شديدة،





شكل 7 - 2

رصاص متحول. هذه القطع الصخرية التي كانت في يوم ما مدورة قد استطالت كما لو حشرت بين فكي كباش.

الهيكلية للمعادن وعندما تزدحم هذه المعادن في أعماق الأرض، يخرج الماء من الهيكل المعدني ويصبح في متناول الاستعمال للمساعدة في التفاعلات الكيميائية. وعلاوة على ذلك فإن الماء عادة ما يملأ الفراغات البينية في معظم الصخور وتعمل المياه المحيطة بالبلورات كعامل مساعد لمساعدة انتقال الأيونات. وكما يتوقع تماما، تعتبر المياه الساخنة أنسب من المياه الباردة في المساعدة على التفاعل الكيميائي. ويمكن مشاهدة التغيرات الكلية التي تحدثها المياه الساخنة بالبيئات القريبة من سطح الأرض. هذا بالإضافة إلى أنه على امتداد مرتفعات وسط المحيط، عندما تدخل مياه البحر عبر الصخور المتهبة، فإنها تحول معادن البازلت الغامقة إلى معادن متحولة مثل السربنتين والتلك.

### التغيرات النسيجية والمعدنية

تنعكس درجة التحول للصخور المتحولة في النسيج والتركيب المعدني. وعندما تتعرض الصخور إلى تحول، ذو درجة خفيفة جدا، فإنها تصبح أكثر تراصاً وأكثر اكتنازاً. ومن الأمثلة المعروفة، الصخر المتحول المعروف بالأردوان الذي يتكون من تراص الحجر الطيني. تذكر أن الحجر الطيني يتكون من حبيبات دقيقة جدا لمعادن الطفلة والتي هي على

المواد مثل معادن الطفلة يعثرها عدم الاستقرار وتبدأ في التبلر من جديد على هيئة معادن الحرارة المرتفعة. أما المعادن الأخرى وعلى الأخص التي توجد في الصخور النارية فإنها تكون مستقرة في درجات حرارة مرتفعة. وهي تحتاج إلى دفن في أعماق تصل إلى 20 كيلومترا أو تزيد، قبل أن يعثرها التحول.

### الضغط كعامل للتحول

يزداد الضغط مع العمق مثله مثل الحرارة. وتتعرض الصخور عند ردمها لضغط الصخور التي فوقها. فالضغط في هذه البيئة المحيطة هو مشابه تماما لضغط الهواء حيث تعمل القوة في جميع الاتجاهات.

وبالإضافة إلى الضغط الناشئ عن حمل المواد العلوية، هناك أيضا ضغط يؤثر على الصخور من جراء عمليات بناء الجبال. وهذه القوى المؤثرة اتجاه حيث تنحصر كما لو كانت بين فكي كباش. وتكون حرارة الصخور العميقة مرتفعة. ولهذا فهي تتصرف بليونية عند تشكيلها. وهذا التصرف يفسر قدرتها على الحركة والانحناء في طبقات معقدة ومتنوعة (شكل 7 - 2). وخلافا لذلك، فالصخور الباردة القريبة من السطح سوف يعثرها القص في وجود قوة مشككة. ويحدث القص عندما تنكسر الصخور القصفية إلى ألواح رقيقة لها القدرة على الانزلاق فوق بعضها البعض. ويمكن تمثيل هذه الظاهرة باستعمال رزمة من ورق اللعب. ويشبه القص الانزلاق الذي يحدث بين الأوراق المختلفة عندما تشد الرزمة بين يديك ويتم تحريك الجزء العلوي بالنسبة للجزء السفلي.

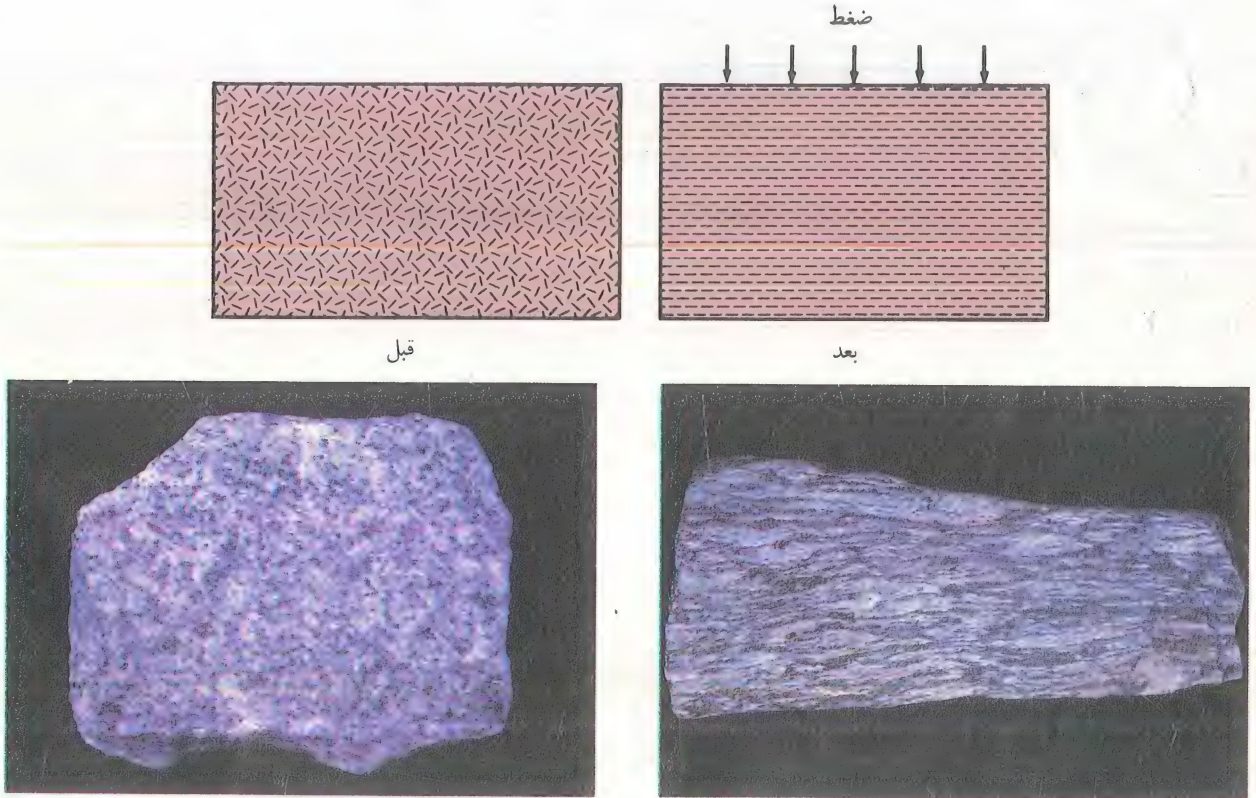
### النشاط الكيميائي والتحول

تزيد السوائل النشطة كيميائيا التي تحتوي عادة على محاليل مائية متآينة، من عملية التحول. ويوجد بعض الماء في كل الصخور تقريبا. ففي كثير من الصخور الرسوبية، التي تحتوي على معادن الطفلة، يتواجد الماء كجزء من البنية



وتوجد أنواع مختلفة من التورق يتوقف كل نوع منها على درجة التشكل إلى حد كبير. فمثلا، أثناء تحوّل الحجر الطيني إلى أردواز تتبلر معادن الطفلة من جديد، والتي هي مستقرة عند سطح الأرض، إلى نتف ضئيلة لمعدن المايكا الذي يعتبر مستقرا عند درجة حرارة وضغط مرتفعين. وعلاوة على ذلك فإنه يحدث أثناء التبلر أن تصبح هذه البلورات الدقيقة لمعدن المايكا مصطفة، بحيث تكون أوجهها المسطحة متوازية تقريبا. ونتيجة لذلك يمكن قصم الأردواز بسهولة على امتداد هذه الطبقات الحبيبات المايكا للتفريق بينه وبين الانقسام الذي يظهر في المعادن (شكل 7 - 4).

درجة كبيرة من التراص. وبالإضافة إلى التراص، فإن الضغط يسبب التبلر في حبيبات المعادن الموجودة في الصخور. ومن المعتقد أن الماء يلعب دورا مهما جدا في عمليات إعادة التبلر. ويعمل الماء الساخن كعامل مساعد في انتقال الأيونات. وتتبلر بعض المعادن في اتجاهات مفضلة، مثل المايكا التي لها بنية صفائحية، والهورنبلند الذي له بلورات ذات استطالة. وتكون الاتجاهات الجديدة إلى حد ما عمودية على اتجاه القوة الضاغطة. ويعطى المعدن الناتج للصخور مظهرا مطبقا أو محزما وهو ما يسمى بالتورق (شكل 7 - 3).



شكل 7 - 3

تحت ضغط التحول، يعاد توجه بعض الحبيبات المعدنية إذ تأخذ اتجاهها متعامدا على اتجاه الضغط. ويعطى التوجيه الناتج للحبيبات المعدنية الصخور نسيجاً متورقاً. فإذا تعرض صخر ناري خشن الحبيبات (جرانيت) كما في يسار الصورة إلى تحول شديد، فقد ينتهي إلى صخر مشابه للصخر المتحول (نايس) كما في يمين الصورة.





شكل 7 - 4

إنقسام صخرى في الشيست.

المنقسم). وتوجد أنواع عدة من الشيست وهي تسمى حسب محتواها المعدني، وأكثرها انتشارا هو شيست المايكا الذي يحتوى عادة على معدن الموسكوفيت أو البايوتيت أو على كليهما معا (شكل 7 - 5).

وأثناء عمليات التحول الشديد يمكن أن يكون انتقال الأيونات كافيا ليسبب فصل المعادن عن بعضها. وشكل 7 - 3 يوضح مثالا للصخور المتحوّلة التي يظهر فيها فصل المعادن عن بعضها. لاحظ أن المعادن الغامقة قد انفصلت عن المعادن الفاتحة معطية مظهرا محزما. وتسمى الصخور المتحوّلة التي تمتلك هذا النسيج نايس، وهي شائعة

وبما أن تنف معدن المايكا المكونة للأردواز ضئيلة جدا، فانه لا يمكن رؤية التورق في الأردواز. وبما أن التورق الصخري يظهر في الأردواز بوضوح مما يدل على اصطفاف معادنه، فانه يمكن اعتبار الأردواز صخرًا متورقًا.

وتحت ضغط مرتفع ودرجة حرارة عالية تنمو حبيبات المايكا الضئيلة جدا الموجودة في الأردواز في أحجامها عدة أضعاف. وتعطى بلورات المايكا هذه، والتي يبلغ قطرها حوالى سنتيمترا واحدا، مظهرا صفائحيًا أو قشريًا للصخور. ويسمى هذا النوع من التورق بالتورق المنقسم. كما تسمى الصخور التي لها هذا النسيج بصخور الشيست (أى



2 - اللؤلؤ / العزم = اصطوانات بالاحاد

- زلزاله - شامة احمر

السيغال بالاحاد

كوس معلوم مصادره



شكل 7 - 5

شيسيت المايكا وهو صخر متحول  
شائع مؤلف من قشر المايكا اللامعة.

غالباً على صورة خطوط أو أحزمة متعرجة من مواد غامقة  
منسابة خلال الرخام. وعلى كل حال هذه الملامح لا تعد  
تورقا.

وعند تحوّل الحجر الطيني الى اردواز رأينا أن معادن  
الطفلة تتبلّر لتكوّن بلورات من المايكا. وفي معظم الحالات،  
بما فيها هذا المثل، لا يطرأ أى تغيير على التركيب الكيميائى  
أثناء التبلّر، بل ان المعادن المتواجدة والأيونات الموجودة في  
الماء تتحد من جديد لتكوّن معادن جديدة مستقرة في البيئة  
الجديدة. ومن الأمثلة المعروفة تكوّن معدن الولاستونيت.  
ينشأ هذا المعدن عندما يتعرض الحجر الجيري (كاك<sub>3</sub>)  
المحتوى على رمال السليكا في هيئة معدن الكوارتز (سأ<sub>2</sub>)  
الى حرارة شديدة أثناء عمليات التحوّل بالتأثر. وتتفاعل  
بلورات الكالسيت كيميائياً مع بلورات الكوارتز لتكوّن معدن  
الولاستونيت (كاسأ<sub>3</sub>).

أما في بعض الحالات فانه تدخل مواد جديدة أثناء  
عمليات التحوّل. فمثلاً، تتغير صخور المنطقة المجاورة لجسم  
كبير من الصهير بواسطة محاليل المياه الحارة الغنية بالحديد  
والمتحررة أثناء المراحل الأخيرة من التبلّر. وتتراكم كثير من

جدا. وينشأ صخر الناييس عادة عن تحوّل الجرانيت أو  
الدايوريت، ولكنه يمكن أن ينشأ عن صخور أخرى، مثل  
الجابرو أو حتى عن طريق التحول الشديد للحجر الطيني.  
ورغم تحنر الناييس، فانه لا ينفصم في اتجاهات موازية  
لاصطفاف البلّورات بالسهولة التي ينفصم بها الأردواز

ولا تملك كل الصخور المتحوّلة نسيجاً متورقا. اذ توصف  
تلك الصخور بأنها عديمة التورق. فالصخور المتحوّلة التي  
تتألف من معدن واحد فقط، مكون من بلورات متساوية  
الأبعاد، يتعدّر رؤية التورق بها. فمثلاً عندما يتحوّل الحجر  
الجيرى، دقيق البلورات المكون من الكالسيت، تتجمع  
بلورات الكالسيت الصغيرة لتكوّن بلورات متساكة كبيرة  
نوعاً. ويبدو الصخر الناتج شبيهاً بصخر نارى خشن  
الحبيبات. ويسمى هذا الصخر المتحول المساوى للحجر  
الجيرى بالرخام. ولو أن الرخام يعتبر من الصخور عديمة  
التورق الا أنه قد يظهر بعض التسطح والتوازي في بلوراته  
عند فحصه مجهرياً. هذا بالإضافة الى أن بعض أنواع الحجر  
الجيرى تحتوى على غشاءات رقيقة من معادن الطفلة، وهذه  
قد يعثرها تمزق أثناء عمليات التحوّل. وتبدو هذه الشوائب



## الصخور المتحولة الشائعة

### الصخور المتورقة

الأردواز هو صخر دقيق التورق مكون من نف المايكا الدقيقة. ومن أهم خصائصه الصخرية وجود الانفصام الصخري الممتاز. وقد جعلت هذه الخاصية من الأردواز صخرا صالحا جدا للاستعمال في تبليط الأسقف والأرضيات وفي السبورات وطاولات البليارد. وينشأ الأردواز من التحول الخفيف للحجر الطيني. وقليل ما ينشأ من تحول الرماد البركاني. ويتخذ الأردواز عدة ألوان حسب تركيبه المعدني. فالأردواز (الكربوني) الأسود يحتوى على مواد عضوية. أما الأردواز الأحمر فيحصل على هذا اللون من أكسيد الحديد.

الخامات المعدنية بواسطة الترسيب من محاليل المياه الحارة. كما أن مياه البحر المتسربة للقشرة المحيطية حديثة التكوين سوف تحتوى على عدد من الأيونات النشطة التي تتفاعل كيميائيا مع الصخور المجاورة. وتكونت أغنى مناطق خامات النحاس بهذه الطريقة.

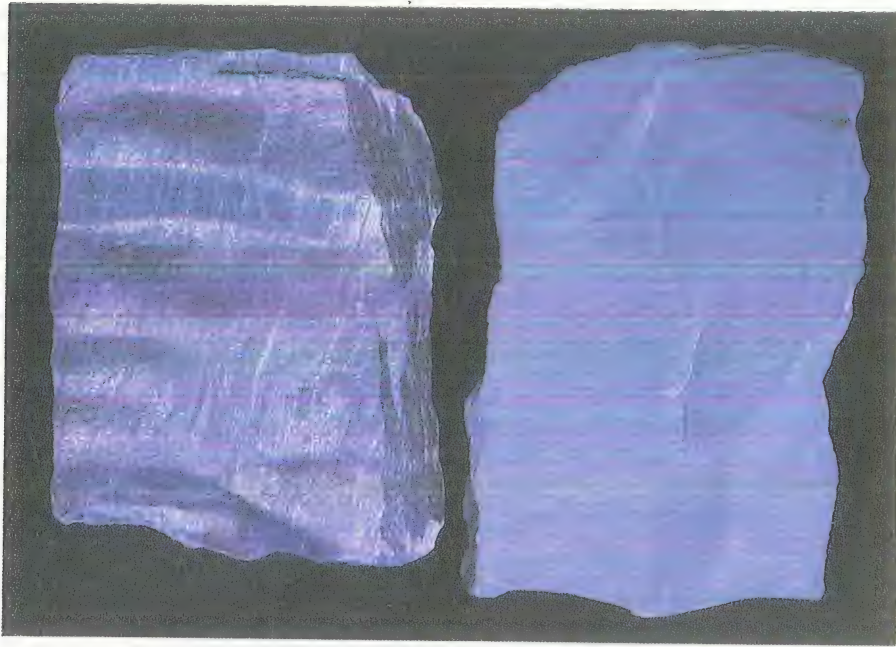
وباختصار، فإن عمليات التحول تسبب كثيرا من التغيرات في الصخور بما في ذلك الزيادة في كثافة الصخور، ونمو البلورات الكبيرة وتغير اتجاه الحبيبات المعدنية (الذي ينشأ عنه مظهر محزم يسمى بالتورق)، واستبدال المعادن المتكونة في درجة حرارة منخفضة بأخرى متكونة في درجات حرارة مرتفعة، واستقطاب الأيونات مستحثة بذلك معادن جديدة قد يكون لبعضها أهمية اقتصادية.



ب







شكل 7 - 7

يمكن تمييز الفيليت من الأردواز بواسطة لمعان الفيليت المتوقد.



شكل 7 - 8

الشيست الجرانيتي المايكي.

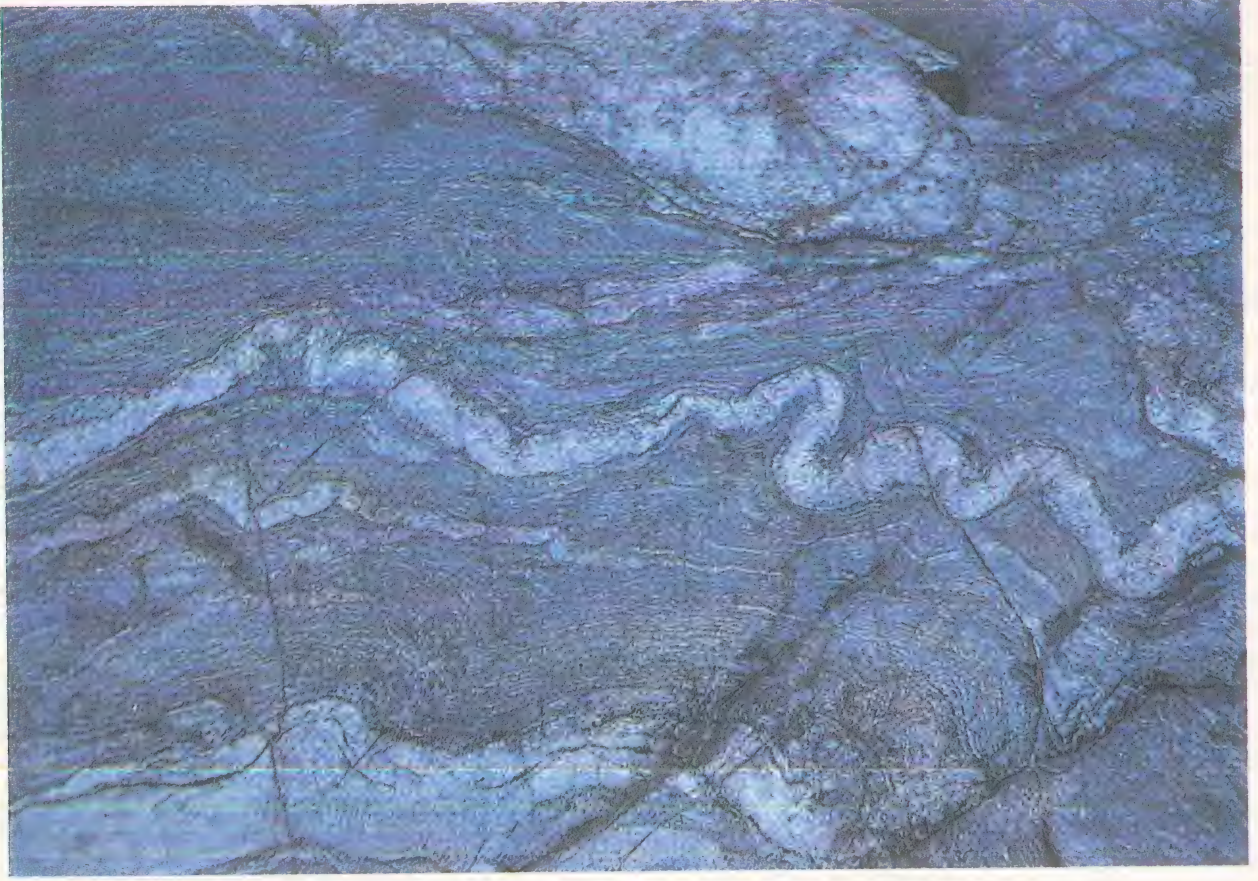
ويحتوي الأردواز الأخضر على معدن الكلوريت وهو معدن شبيه بالمايكا ينشأ من تحول السليكات الغنية بالحديد. ونظرا لتكوّن الأردواز خلال درجات التحول الخفيف فانه كثيرا ما يحتفظ بالأسطح الطبقيّة الأصلية. ومع ذلك فان اتجاهات الانقسام الصخري في الأردواز غالبا ما تكون عمودية على الطبقات الرسوبية الأصلية (شكل 7 - 6). ولهذا فان الأردواز ينفصل عبر الأسطح الطبقيّة بعكس الحجر الطيني الذي ينفصل على امتداد هذه الأسطح.

ويمثل الفيلّايت تدرجا بين الأردواز والشيست. ومعادنه الصفائحية هي أكبر من معادن الأردواز ولكنها لم تبلغ الحجم الذي تمكّن من التعرف عليها. ومع أن الفيلّايت شبيه جدا بالأردواز الا أنه يمكن تمييزه بواسطة لمعان سطحه (شكل 7 - 7). ويظهر في الفيلّايت الانقسام الصخري بوضوح، كما أنه يحتوي على بلورات دقيقة من معدني الكلوريت والموسكوفيت.

أما الشيست فهو صخر متحول متميز وهو شائع شيوع صخر الناييس. ويحتوي الشيست اصطلاحيا على 50 % من

المعادن الصفائحية. وهي عادة ما تكوّن معادن الموسكوفيت والبايوتيت. ومثل الأردواز فان معظم الصخور المتحول منها الشيست هي عبارة عن الحجر الطيني غير أنه في حالة الشيست تكون درجة التحول أشد. وإذا كان الصخر





شكل 7 - 9

نايس مفتول يوجد في قاع الأخدود الكبير (جراند كانيون) بنهر كولورادو.

الجرافيت وأغراض التشحيم. بالإضافة الى ذلك فإن صخور الشيست قد تحتوى على كميات من معدن الكلوريت أو التلك، وفي هذه الحالة تسمى بشيست الكلوريت أو شيست التلك حسب الحالة. وينشأ كل من شيست الكلوريت وشيست التلك عندما تتعرض الصخور ذات التركيب البازلتى الى عمليات التحول.

وتطلق كلمة ناييس على أنواع الصخور المتحولة ذات التورق، والتي تحتوى على معادن حبيبية في معظمها بخلاف المعادن الصفائحية. وأكثر المعادن تواجداً في صخور الناييس هو معدن الكوارتز، وفلسبار البوتاسيوم والصوديوم. ويمكن

الأصلى يحتوى على السليكا فان ذلك يظهر على هيئة أحزمة رقيقة من الكوارتز وكذلك الفلسبار.

وتسمى أنواع الشيست حسب تركيبها المعدنى. فالتى تحتوى على الموسكوفيت والبايوتيت مع نسبة قليلة من السليكا تسمى بالشيست المايكى. وحسب درجة تحول شيست المايكا فانه يحتوى على معادن نادرة وهذه ظاهرة خاصة تنفرد بها الصخور المتحولة. وبعض هذه المعادن النادرة تشمل معادن الجرانيت والستوروليت والسيلينيت (شكل 7 - 8). وتحتوى بعض أنواع الشيست على الجرافيت الذى يستعمل في رصاص الأقلام، وفنائيل





شكل 7 - 10  
الرخام، صخر متبلر ينشأ عن تحول  
الحجر الجيري.

المحزمة المعادن الغامقة مثل تلك الموجودة في البازلت فانها تسمى صخور الأمفيبوليت. وهذا الاسم مستمد من معدن الأمفيبول.

#### الصخور عديمة التورق

الرخام هو صخر خشن البلورات، مستمد من الحجر الجيري أو من الحجر الدولوميتي (شكل 7 - 10). وعند فحص عينة من الرخام نجد أن بلوراتها تشبه تماما الحجر الجيري المتبلر. والرخام النقي، مثل الثلج، ويحتوي فقط على معدن واحد هو الكالسيت في هذه الحالة. ونظرا لنقاء لونه ولكونه قليل الصلابة نوعا (صلابة 3)، فإن الكثيرين يفضلون استعماله في البناء. ويحظى الرخام الأبيض باهتمام خاص لكونه الصخر المفضل الذي تنحت منه النصب التذكارية والتماثيل.

ونظرا لاحتواء الصخور الأصلية على شوائب، فانه توجد عدة أنواع من الرخام. فقد يكون لون الرخام ورديا أو رماديا أو أخضرا أو حتى أسودا. هذا بالإضافة الى أن تحول الحجر الجيري غير النقي قد ينتج عنه عدد من المعادن

القول بأنه توجد كميات أقل من معادن الموسكوفيت والبايوتيت وأهورنبلند في صخور الناييس. وانفصال معادن السليكات الفاتحة من معادن السليكات الغامقة يعطى هذا النوع من الصخور المتحولة نسيجاً متميزاً. ولذلك فإن معظم صخور الناييس تتألف من أحزمة متعاقبة من نطاقات غنية بالفلسبار الأبيض أو الأحمر مع طبقات من المعادن الغامقة. (شكل 9 - 7). وبعض أنواع صخور الناييس يمكن أن تنفصم بسهولة على امتداد طبقات المعادن الصفائحية، ولكن معظمها ينكسر بطريقة غير منتظمة مثل بقية الصخور المتبلرة.

وعادة ما تمتلك صخور الناييس تركيب الجرانيت لنشأتها من الجرانيت أو أحد الصخور الخشنة المساوية له. كما أنها قد تنشأ من التحول الشديد لصخور الحجر الطيني. وفي هذا السياق فإن الناييس يمثل الحلقة الأخيرة في سلسلة الصخور المتدرجة من الحجر الطيني الى الأردواز الى الفيلائيت الى الشيست الى الناييس. وتشبه صخور الناييس صخور الشيست في احتوائها على بلورات كبيرة من معادن نادرة مثل الجارنيت والستوروليت. وعندما يغلب في الصخور



## التحول على امتداد الصدوع

عندما تحدث الصدوع قرب سطح الأرض فان الضغط وحرارة الاحتكاك الناتجة عن امتداد منطقة الصدع، تكون صخورا قليلة التماسك مؤلفة من قطع مكسرة ومشوهة. وتسمى هذه الصخور بريشة الصدوع اذا كانت مكونة من قطع مزواة. أما الصخور المتحولة الناتجة عن امتداد الصدوع في أعماق الأرض فانها تشبه الى حد كبير الصخور الناشئة بالعمليات التحولية الأخرى. ولهذا فإنه لا يمكن التعرف على نشأتها عن طريق الفحص العادي.

وتعتبر الصخور المتحولة الناشئة عن امتداد الصدوع غير ذات أهمية اذا ما قورنت بكمية الصخور المتحولة الناشئة من النوعين الآخرين، ورغم ذلك فان هذه الصخور المبرغلة أو المحببة، تعتبر مهمة في بعض المواقع. فمثلا، يوجد على امتداد فالتق سان اندرياس بكاليفورنيا نطاق من بريشة الصدوع وصخور مصاحبة تمتد مسافة 1000 كيلومتر وبعرض 3 كيلومترات.



## تحول التماس

يحدث تحول التماس عندما تمس الصخور المنصهرة صخورا باردة. ويمكن التعرف بسهولة على الصخور المعرضة لتحول التماس عندما تكون قرب سطح الأرض، حيث يكون هناك فرق كبير في درجات الحرارة بين الصهير والصخور المحيطة به (شكل 7 - 11). وليس هناك من شك في أن تحول التماس يلعب دورا نشطا في أعماق الأرض، ولكن التغيرات العامة التي يسببها التحول الشامل قد تطمس آثاره.

النادرة التي تشمل الكلوريت والمايكا والجارنيت، وغالبا الولاستونيت. وعندما ينشأ الرخام من الحجر الجيري المتداخل مع الحجر الطيني فان مظهره سيكون محزما. وكثيرا ما ينفصل الرخام على امتداد هذه الأسطح الطبقيّة مبرزا معادن المايكا التي تبلرت من المعادن الطفلية. وتحت ظروف التشكل العالية فان أحزمة الرخام تكون ملوكة تماما معطية الصخر مظهرا فنيا مميزا.

أما الكوارتزيت فهو صخر متحول شديد الصلابة ينشأ عادة من معدن الكوارتز (المرو) في الحجر الرملي. وتحت درجات التحول المعتدل أو الشديد تندمج حبيبات الكوارتز مع بعضها. ويكون التبلر كليا، لدرجة أنه عندما ينكسر الكوارتز فانه ينقسم خلال حبيبات الكوارتز الأصلية بدلا من انقسامه بين الحبيبات. وفي بعض الحالات يحتفظ الكوارتز بالملامح الرسوبية مثل الطبقات المتقاطعة مما يعطى الصخر مظهرا محزما.

ورغم أن لون الكوارتزيت النقي أبيض، فهو غالبا ما يحتوي على لون أكسيد الحديد الذي يعطيه لونا يتراوح بين الوردي والأحمر. وقليل ما يحتوي الكوارتزيت على نسبة مئوية بسيطة من المعادن الغامقة مما يعطيه لونا رماديا.

والكوارتزيت يشبه الرخام في احتوائه على معدن واحد، وفي تكوينه لبلورات متساوية الأبعاد. وتبعاً لذلك فهو خال من التوازي في حبيبات المعادن ونتيجة لذلك فهو عديم التورق.

## تواجد الصخور المتحولة

تذكر أن الصخور المتحولة تنشأ غالبا في أحد البيئات الثلاثة: على امتداد الصدوع، أو في مواقع التماس مع كتل الصخور النارية، أو أثناء العمليات النشطة المصاحبة لبناء الجبال.

وأثناء تحول التماس هناك نطاق، يسمى بالأذينة، يحيط بالصهير الذي يحتل المكان فيكون للأجسام الصغيرة المفتحة مثل الجذوة الموافقة أو الجذوة القاطعة، أذينات لا يزيد سمكها عن بضعة سنتيمترات. أما الأجسام النارية الكبيرة مثل الباتوليت واللاكوليث فتكون نطاقات من





الصخور المتحولة يبلغ سمكها عدة كيلومترات (شكل 7 - 12). وتتألف هذه الأذينات الكبيرة من نطاقات متحولة محددة. فقرب جسم الصهير يمكن أن تنشأ معادن الحرارة العالية، مثل الجارنيت، بينما تنشأ معادن الحرارة المنخفضة مثل الكلوريت بعيداً عنه. ويتوقف حجم الأذينة الناتجة عن التركيب المعدني للصخور المجاورة وعلى تواجد الماء بالإضافة إلى حجم جسم الصهير المقتحم وفي الصخور النشطة كيميائياً مثل الحجر الجيري تمتد منطقة التأثير إلى مسافات تبعد 10 كيلومترات أو أكثر من الجسم الناري. وفي هذه الحالة فإن تواجد معادن مثل الجارنيت والولاستونيت يحدد منطقة التحول.

ومعظم صخور تحول التماس هي عبارة عن صخور دقيقة الحبيبات، مكتنزة وقوية ذات تنوع في تركيبها الكيميائي. فمثلاً، خلال تحول التماس تنصهر معادن الطفلة كما لو كانت قد وضعت في فرن، ويمكن أن ينشأ عنها صخر صلب دقيق

شكل 7 - 11

منظر مقرب لنطاق فاصل حيث اقتحمت صخور نارية فاتحة اللون الصخور المضيفة ذات اللون الغامق وتسببت في تحولها.



شكل 7 - 12

تتكون الطبقة الغامقة المسماة بالسقف المعلق من صخور المنطقة المتحولة الملاصقة للجزء العلوي من كتلة صخور نارية. وتدل كلمة السقف المعلق على أنه كان في يوم ما سقفًا لغرفة صهير.



نقل المواد العلوية لتظهر تحتها الصخور النارية والمتحولة التي تشكل العمود الفقري للسلاسل الجبلية.

وحيث أن صخور التحوّل الشامل هي من نتاج الضغوط الاتجاهية، فإنها عادة ما تكون متورقة. هذا بالإضافة الى أنه يوجد تدرج في شدة التحوّل بمنطقة التحوّل الشامل. فعند الانتقال من منطقة التحوّل الخفيف الى منطقة التحوّل الشديد فإنه يمكن ملاحظة التغيرات في التركيب المعدني والنسيج الصخري.

ويمكن استيعاب الصخور الرسوبية المتمثلة في الحجر الطيني كمثال مبسط لتدرج عمليات التحوّل والذي ينتج عنه الأردواز أثناء عمليات التحوّل الخفيف. أما عندما يرتفع الضغط ودرجة الحرارة بمقدار أكبر فإن المايكا الموجودة في الشيست تتبلر الى معادن أخرى مثل الفلسبار والهرنبلند وبذلك ينشأ النايّس.

وبالإضافة الى التغيرات التي ذكرت، هناك تغيرات أخرى في التركيب المعدني يمكن ملاحظتها عندما تنتقل من مناطق التحوّل الخفيف الى مناطق التحوّل الشديد. ويوضح شكل ( 7 - 13 ) الانتقال النموذجي في التركيب المعدني الذي ينتج عن التحوّل الشامل للحجر الطيني. وأول معدن يتكوّن في الأردواز هو معدن الكلوريت والذي تحل محله تدريجياً مقادير أكبر من معدني الموسكوفيت والبايوتيت كلما اتجهنا من منطقة التحوّل الخفيف الى منطقة التحوّل الشديد. سوف يحتوي شيست المايكا المكوّن تحت ظروف أشد على بلورات الجارنيت والستوروليت. أما عندما تقترب درجات الحرارة والضغط من نقطة الانصهار، فإنه يمكن العثور على بلورات معدن السيلينيت في صخور الشيست والنايس. ويمثل معدن السيلينيت درجات التحوّل الشديد وهو يستعمل في صناعة القيشاني المقاوم للحرارة. والمستعمل في تبطين شمعات الاشعال.

وبدراسة الصخور المتحوّلة واجراء التجارب العملية عرف الباحثون أن لبعض المعادن فائدة كبيرة في الدلالة

الجيبية لا يختلف عن القيشاني. وحيث أن الضغط الموجه ليس عنصراً مهماً في تكوين هذه الصخور، فإنها عادة ما تكون عديمة التورق. ويطلق اسم هورنفلس على أنواع كثيرة من الصخور المتحوّلة بطريقة التماس، عديمة التورق.

وعندما تدخل كتل نارية كبيرة في تحوّل التماس، فإن محاليل المياه الحارة التي تنشأ داخل الصهير تستطيع أن تنتقل لمسافات بعيدة. وأثناء انسياب هذه المحاليل عبر الصخور المجاورة، فإن التفاعلات الكيميائية تعمل معها على اتمام عمليات التحوّل. هذا بالإضافة الى أن خامات لمعادن فلزية مختلفة، يعتقد بأنها تنتج عن دخول الأيونات الفلزية، والتي مصدرها محاليل المياه الحارة. وتشمل هذه التجمعات خامات للنحاس والخراسين والرصاص والحديد والذهب.

### التحوّل الشامل

تنشأ معظم الصخور المتحوّلة أثناء عمليات التحوّل الشامل. وكما ذكر آنفاً فإن عمليات التحوّل الشامل تغطي مساحات شاسعة. وهي تصاحب عمليات بناء الجبال. فأثناء هذه العمليات يتم الضغط على جزء كبير من القشرة الأرضية ويزداد سمكها. وتنشأ عن الزيادة في سمك القشرة الأرضية جبال تقف شاهقة فوق مستوى سطح البحر. ورغم أن هناك مواد قد رفعت الى ارتفاعات شاهقة أثناء عمليات بناء الجبال، فإن كميات مساوية من الصخور لا بد أن تنصاع الى أسفل حيث يتم تعرضها لحرارة وضغط شديدين. وهناك في «عروق» الجبال تحدث أشد عمليات التحوّل. فقد تصل حرارة بعض الصخور المتحوّلة الى درجة الانصهار فتكوّن صهيراً. ويصعد الصهير الناتج الى أعلى بفعل كونه أقل كثافة من الصخور المحيطة به. وعندما يصل الصهير قرب سطح الأرض فإنه يسبب تحوّل التماس فوق منطقة التحوّل الشامل. ولهذا فإن العمود الفقري للسلاسل الجبلية يحتوي على صخور مفتحة تحيط بها صخور متعرضة للتحوّل الشديد. وعندما ترفع الجبال فإن عوامل التعرية تعمل على



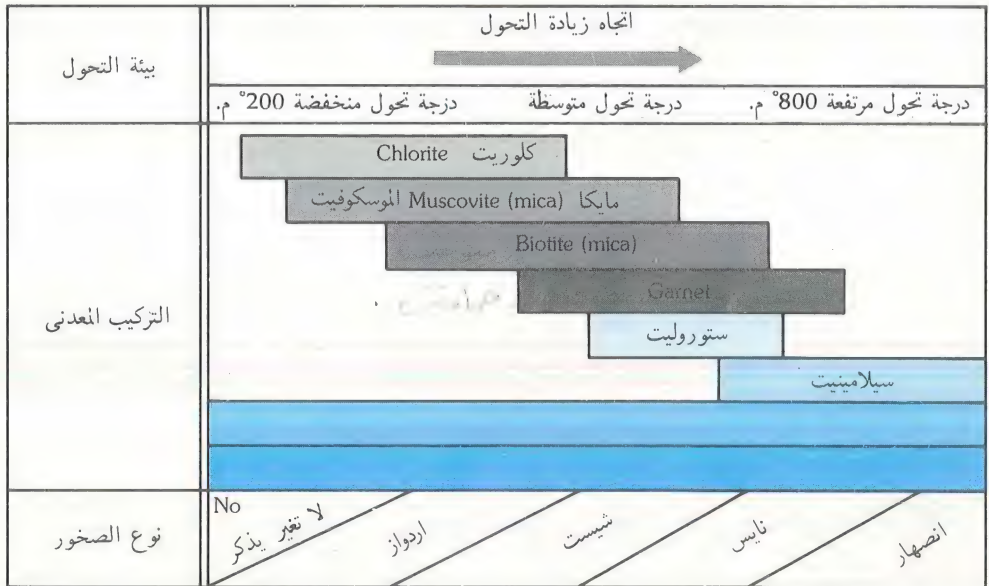
والبايوتيت. وإذا ما برد هذا الصخر المنصهر جزئياً، فإن الأحزمة الفاتحة سوف تحتوى على صخور نارية متبلرة بينما تحتوى الأحزمة الغامقة على المواد المتحولة التى لم تنصهر. ويقع هذا النوع من الصخور فى الدائرة الانتقالية بين الصخور النارية الحقيقية والصخور المتحولة، وهى التى تعرف بالمغمايتيات (شكل 7 - 14).

### التحول وحركة الألواح

يبدو أن معظم المعلومات الحالية عن التحول تتفق مع طبيعة الحركات الأرضية كما تصوّرناها لنا نظرية تحرك الألواح. ففي هذا النموذج تقع عمليات بناء الجبال وعمليات التحول المصاحبة لها على امتداد النهايات المتقاربة، حيث تتحرك كتل من الغلاف الصخري نحو بعضها البعض (شكل 7 - 15). ففي هذه المواقع تعمل القوى التضاغطية على عصر وتشكيل الألواح المتقاربة والرواسب التى تجمعت على امتداد حواف القارات. ويفسر

على بيئة التحول التى تكونت فيها. وباستعمال هذه المعادن الدالة يفرق الجيولوجيون بين النطاقات المختلفة للتحول الشامل. فمثلاً، ينتج معدن الكلوريت عند درجات حرارة منخفضة نسبياً، حوالى 200° م (شكل 7 - 13). ومن جهة أخرى فإن معدن السيلينايت يتكون من بيئات متطرفة حيث تزيد درجة الحرارة عن 600° م. وبتحديد مواقع المعادن الدالة على الخريطة، فإن الجيولوجيين يرسمون فى الواقع النطاقات المختلفة لدرجات التحول.

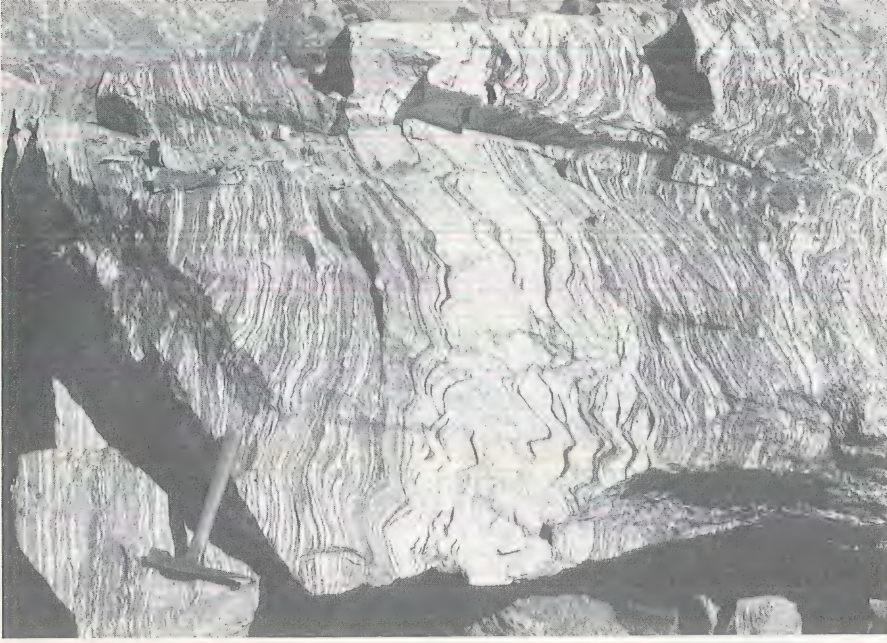
وفى البيئات المتطرفة، حتى الصخور شديدة التحول تكون عرضة للتغير. وفى البيئات قليلة الضغط والتى تزيد فيها درجات الحرارة عن 800° م فإن الشيست والنائس، اللذان يساوى تركيبهما الكيميائى تركيب الجرانيت، يبدآن فى الانصهار. ولكن تذكر من مناقشتنا للصخور النارية أن المعادن لا تنصهر فى درجة واحدة فالسليكات فاتحة اللون مثل الكوارتز وفلسبار البوتاسيوم عادة ما تنصهر أولاً. بينما تبقى السليكات الغامقة متصلبة والتى من أمثلتها الأمفيبول



شكل 7 - 13

الانتقال النموذجى بين المعادن الذى ينتج عن التحول التدريجى للحجر الطينى.





شكل 7 - 14

المفاتيح. الصخور فاتحة اللون هي عبارة عن صخور نارية متكونة من الكوارتز والفلسبار بينما تعود الصخور الغامقة الى اصل تحوُّل.

وفي المناطق السطحية الواقعة في اتجاه اليابسة من منطقة الخنادق المحيطية تسود في بيئة التحول درجات حرارة مرتفعة بالنسبة للضغط وهنا تؤثر الصخور المنصهرة القادمة من أسفل على الصخور المحيطة بها في بيئة خفيفة الى معتدلة الضغط. ويمثل هذا النوع من البيئات جبال صحراء نيفادا الامريكية التي تحتوى على صخور نارية مقتحمة وصخور متحولة مصاحبة لها.

ومن الواضح أن معظم المواد المتأثرة الموجودة قرب الخنادق المحيطية تتألف من حزامين طوليين متميزين من الصخور المتحولة. وفي أقرب موقع للخندق نجد أن هناك نظاما ذا ضغط عال وحرارة منخفضة. أما في اتجاه اليابسة في منطقة اقتحام الكتل النارية الجوفية، فان عمليات التحول تسودها بيئات ذات حرارة مرتفعة وضغط منخفض الى معتدل.

وبالإضافة الى الأحزمة الطولية من الصخور المتحولة التي توجد في محاور معظم الأحزمة الجبلية، توجد امتدادات

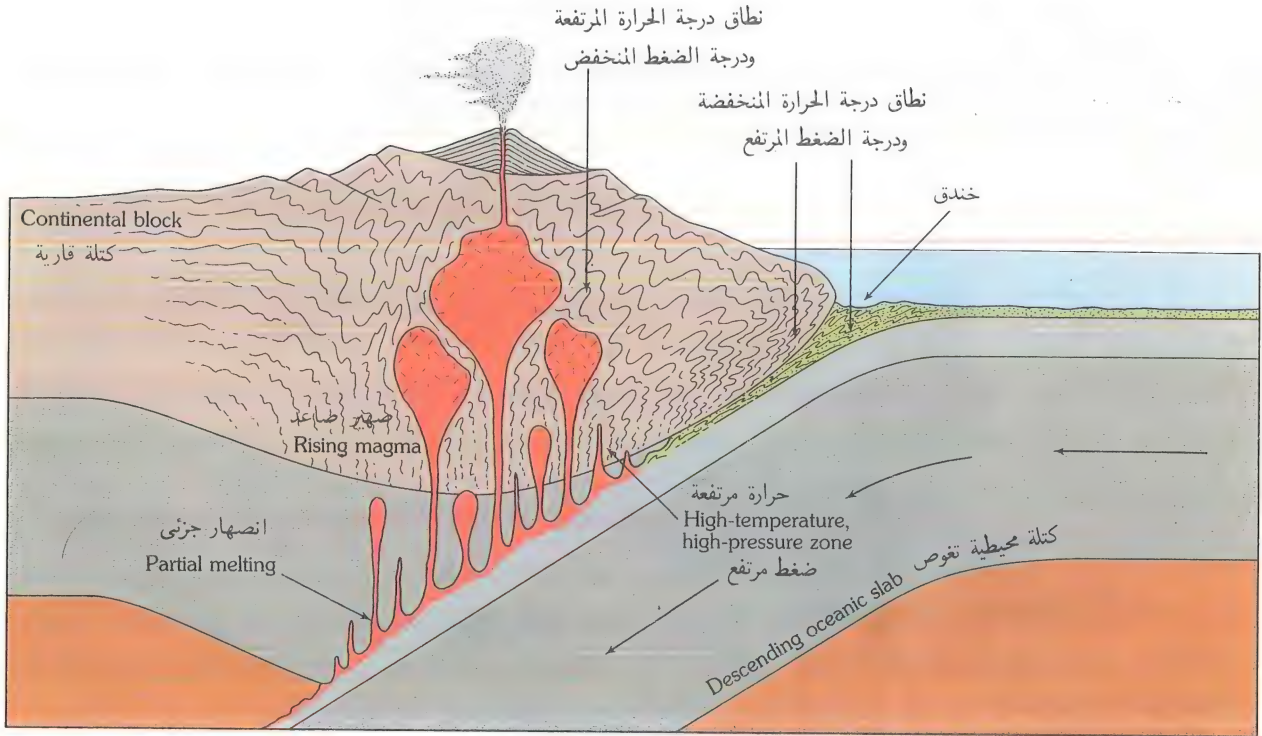
نموذج تحرك الألواح أيضا النشاط الناري المصاحب لبناء الجبال. فعند المناطق المتقاربة تغوص المواد الى أعماق تكون فيها درجة الضغط ودرجة الحرارة مرتفعتين. وينتج عن الانصهار الناتج لبعض المواد الغائصة صهير ينتقل الى أعلى ليتبلر في لب الكتل الجبلية.

وبين الفحص الدقيق لشكل (7 - 15) بأنه يوجد أكثر من نوع من بيئات التحول على امتداد الأطراف المتقاربة. فقرب الخنادق المحيطية يتم غوص كتل من الغلاف الصخري البارد الى أعماق سحيقة. وبهبوط الغلاف الصخري والرواسب المصاحبة له، يزداد الضغط بمعدل أكبر من زيادة الحرارة. ويحدث ذلك لأن الصخور تعتبر رديئة التوصيل للحرارة. ولهذا فان تسخين الكتل السميكة يتقدم ببطء. فالصخور التي تتكون في هذه البيئة ذات الضغط الكبير بالنسبة للحرارة تسمى بصخور الشيست الأزرق والتي تستمد اسمها من معدن الغلوكونين الأمفيبولي ذو اللون الأزرق الذي ينشأ تحت هذه الظروف.



الجبال الحالية، فانه يعتقد بأن الدروع تمثل بقايا لعمليات بناء الجبال التي تمت في أزمنة أكثر قدما. فإذا صح هذا التحليل، فهو يدل على أن الأرض كانت دائمة الحركة خلال فترات سحيقة من تاريخها. وباستمرار دراسة مناطق التحوّل في اطار نموذج تحرك الألواح، سوف تتضح للجيولوجيين معلومات جديدة عن مشكلة نشأة القارات. وسوف نتناول هذا الموضوع بشيء من التفصيل في الفصل الثامن عشر.

للمصخور المتحوّلة في الأجزاء الداخلية المستقرة من القارات. وتسمى هذه الامتدادات المنبسطة من الصخور المتحوّلة ومن الكتلة الجوفية للمصخور النارية بالدروع. وأحد هذه التركيبات وهو الدرع الكندي له تضاريس منبسطة ويكوّن الصخور السطحية في معظم مناطق وسط كندا ممتدا من خليج هادسون حتى شمال ولاية مينيسوتا. ويدل التّاريخ الإشعاعي لصخور الدرع الكندي على أنها من بين أقدم الصخور عمرا فوق سطح الأرض. وبما أن هذه الدروع قديمة وأن تركيبها الصخري يشبه التركيب الصخري لللب



شكل 7 - 15

بيانات التحول حسب نموذج حركة الألواح.



## أسئلة

## للمراجعة :

- 1 - ما هو التحول؟ وما هي عوامل التحول؟
- 2 - ما هو التورق؟ مَيِّز بين الانفصام الصخري وتورق الشيست؟
- 3 - عدد بعض التغيرات التي قد تحدث في الصخور نتيجة لتعرضها لعمليات التحول.
- 4 - الأردواز والفيلائيت متشابهان. فكيف تميّز بينهما؟
- 5 - تصف كل من الجمل الآتية واحداً أو أكثر من خصائص صخر متحول معين.  
في كل جملة أذكر اسم الصخر المتحول الموصوف :-  
أ - صخر غني بمعدن الكالسيت وعديم التورق. **الرخام**  
ب - صخر متورق وتغلب عليه معادن حبيبية. **النيس**  
ج - صخر يمثل درجة تحول تقع بين الأردواز والشيست. **الفيلائيت**  
د - صخر دقيق الحبيبات متورق، له انفصام صخري جيد. **الأردواز**  
هـ - صخر متورق يحتوي على أكثر من 50% من معادن صفائحية. **الشيست**  
و - صخر يحتوي غالباً على أحزمة متعاقبة من سليكات فاتحة وسليكات غامقة. **صخر الغابك**  
ز - صخر صلب عديم التورق ناتج عن تحول التماس. **هورنفلد**
- 6 - فرق بين تحول التماس والتحول الشامل. أيهما يكون مسئولاً عن تكون أكبر كمية من الصخور المتحولة؟ **التحول الشامل**
- 7 - ما هي الخاصية التي يمكن بواسطتها تمييز الشيست والنيس بسهولة عن الكوارتزيت والرخام؟ **التورق**
- 8 - صف باختصار الفرق في النسيج والتركيب المعدني بين الأردواز والشيست المايكي والنيس. أي من هذه الصخور يمثل أشد درجات التحول؟ **الشيست**
- 9 - هل يعد المغناطيت من بين الصخور شديدة التحول أم خفيفة التحول؟
- 10 - أي نوع من أطراف ألواح القشرة الأرضية يصاحبه التحول الشامل؟

## الكلمات الدالة :

index mineral

shear

contact metamorphism

foliation

shield

hydrothermal solution

migmatite

nonfoliated

المعدن الدال

القوة القاصصة

تحول التماس

تورق

درع

محاليل المياه الحارة

مغناطيت

عديم التورق

aureole

rock cleavage

regional metamorphism

schistosity

stress

أذينة

الانفصام الصخري

التحول الشامل

الانقسام

الضغط







8



تبدد الكتل



8





## التحكم في تبدد الكتل

### تصنيف وسائل تبدد الكتل

- نوعية المادة
- نوعية الحركة
- معدل الحركة

### الهبوط

### الانزلاق الصخري

### التدفق الطيني

### التدفق الترابي

### الزحف

### الجمد السرمدي والتموج الانفرادي

بين الحين والآخر تنقل اليينا وسائل الاعلام بعض التفاصيل عن الانهيارات وآثارها المؤلة. ومثال ذلك ما حدث في يوم 31 مايو من سنة 1970 حين اندفع تيهور صخري ضخمة ليُدفن تحته ما يزيد على 20,000 نسمة في بيونجي وارانهايريكيا ببيرو (شكل 8 - 1). فقد بدأ التيهور فجأة وبدون انذار على بعد 14 كيلومترا من بيونجي بالقرب من نيفادوس هواسكاران، التي يبلغ ارتفاعها حوالى 6700 مترا فوق سطح البحر، وهي أعلى قمة بجبال الانديز ببيرو. فقد اندفعت كتلة ضخمة من الصخور والجليد بعد هزة أرضية كان مركزها داخل البحر من الجانب الشمالى الشديد الانحدار للجبل. وبعد اندفاعها الى مسافة تقرب من الكيلومتر تفتت الصخور وذاب الجليد بفعل الهواء المحجوز بالداخل، والذي زاد أيضا من سرعتها. وقد عملت الكتلة الاصلية على خلع ملايين الاطنان الاضافية من الفتات الصخرى، الذى اندفع مزجرا على سفح الجبل. وقد نتج

انزلاق مضيق ماديسون الذى سببه الزلزال.

عن موجة الهزة ما يشبه صوت الرعد، وتجريد منحدرات بكاملها من غطائها النباتى. وبالرغم من اتباع التيهور مسار أحد الوديان الذى سبق نحته في الصخور هناك الا أن جزءاً من مكوناته قد قفزت فوق تل يبلغ ارتفاعه بين 200 و 300 متر، كان يحمي بيونجي وذلك ليُدفن المدينة بكاملها. وبعد غمر الكتلة المدينة رانهايريكيا هى الأخرى وصل التيهور قاع الوادى مرتفعاً عشرات الامتار على الضفة المقابلة.

ولم تكن هذه الكارثة الأولى والأخيرة من هذا النوع في المنطقة. فقد حدث تيهور اصغر حجماً، قبل ثمانى سنوات وصلت ضحاياه الى حوالى 3500 نسمة. وكما هو حال الكثير من الكوارث الجيولوجية فان مسببات التيهور الصخري بالبيرو كانت طبيعية، أى هزة أرضية. غير أن بعض الكوارث الناجمة عن تبدد الكتل قد يتسبب الانسان في حدوثها. ففي سنة 1960 مثلاً شيد سد يقارب ارتفاعه 265 مترا فوق مضيق فايونت بجبال الألب الايطالية، وبعد ثلاث سنوات، وفي ليلة 9 اكتوبر 1963 م حدثت كارثة كان السد سببها الرئيسى. فقد كانت طبقات حوض الوادى المكوّنة من الحجر الجيرى المتشقق والحاوى لفجوات الاذابة وبعض الطبقات الطينية ذات ميل شديد تجاه البحيرة وراء السد. وعند تشبع الطبقات السفلى وانتفاخ محتوياتها من الطين وزيادة لدونته، نقصت قوة الاحتكاك الداخلى التى كانت تعمل على تثبيت الصخور في مكانها. فقد اشارت القياسات الى هذه المشكلة مبينة أن ذلك الجزء من الجبل قد بدأ في الحركة الى اسفل بمعدل 1 سنتيمترا في الاسبوع. وفي سبتمبر 1963 زاد هذا المعدل الى 1 سنتيمترا في اليوم ثم 10 الى 20 سنتيمترا في اليوم واخيراً 80 سنتيمترا في اليوم.

وبعد ذلك انطلق جانب الجبل ليُدفع في لحظات بمقدار 240 مليون متر مكعب من الصخور، مغطية مسافة كيلومترين من المضيق اسفله الى ارتفاع بلغ 150 مترا فوق مستوى بحيرة السد (شكل 8 - 2). وبملاء خزان السد اندفعت مياهه الى الخارج في موجة يزيد ارتفاعها على 90 مترا. وقد بقيت هذه الموجة اسفل السد بحوالى 1.5 كيلومترا على ارتفاع 70 مترا مدمرة كل ما في طريقها. وبالرغم من

تم حركة الصخور الى اسفل  
المضيق تحت تأثير الجاذبية





الجبال الهيمالايا  
 فيد، القتل  
 الكشتا  
 المياه  
 زراعة لوتس  
 الجازية لافيت  
 شمال



شكل 8 - 1  
 وادي بيرو تم تدميره بتيهور صخري  
 تحرك نتيجة لزلزال داخل المحيط في  
 مايو 1970 م. (أ) - قبل. (ب) - بعد  
 التيهور.



مخلفات التعرية أسفل المنحدرات. والماء هو أحد هذه العوامل. فعند ملء الفراغات المسامية بالماء يتعطل التماسك بين جزيئات المادة، مما يسمح لها بالانزلاق قبالة بعضها البعض بسهولة أكثر. فمثلا عندما يكون الرمل قليل الرطوبة، يتماسك بعضه ببعض. وإذا ما اضيفت اليه كمية أكبر من الماء فإنه ينتشر في جميع الاتجاهات. وبناء عليه فإن تشبع المادة بالماء يعمل على انقاص مقاومتها الداخلية مما يدفعها الى الحركة بسهولة تحت تأثير الجاذبية. كما أن زيادة الماء بالنسبة الى الطين يزيد في وزنها، ومن ثم انزلاقها. وهو مثل آخر في كون الماء عامل انزلاق مهم. وزيادة الوزن والانحدار الشديد سببان مهمان في حركة الكتل.

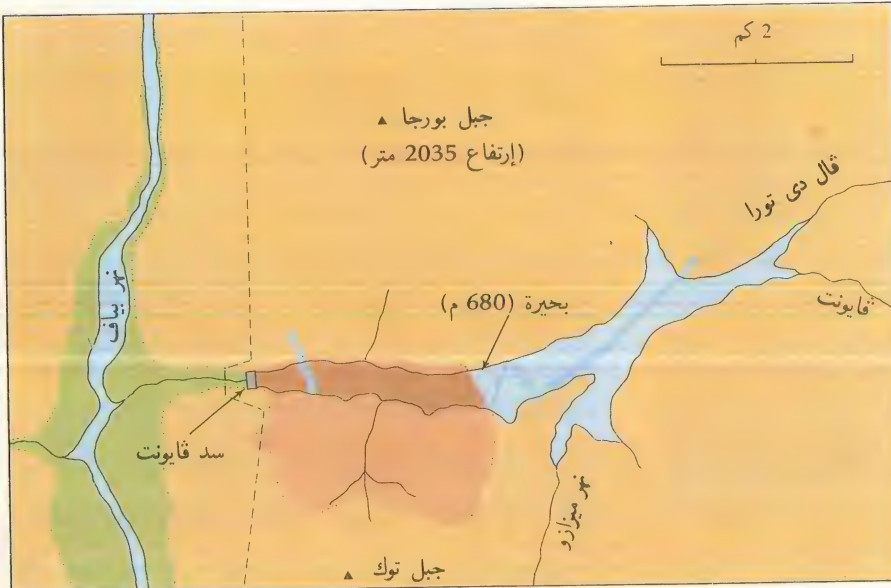
وتحافظ الجيبات غير المتناسكة على وضعها فوق المنحدرات فيما يسمى بزواوية السكون. وهي أقصى زاوية ميل للمنحدر تضمن بقاء المواد فوقه دون تأثير وتتراوح زاوية السكون بين 25 و 40 درجة، وذلك بناء على حجم وشكل الجزيئات. فكلما زاد حجم جيبات الفتات الصخرى وقل تشديدها كلما زادت زاوية سكونه. وكلما زادت قيمة زاوية

الحادثة لم تستمر أكثر من 7 دقائق وان جسم السد بقي سليما، الا انها تسببت في القضاء على 2600 نسمة. وتعرف هذه الحادثة بأنها افطع حوادث السدود في التاريخ. وبالرغم من ان سببها المباشر كان ناتجا عن تدخل الانسان في وضع نهر فيونت الا انها كانت يمكن أن تحدث طبيعيا ولكن بأضرار أقل. ولحسن الحظ فان مثل هذه الكوارث نادرة الحصول وقلما تؤثر مباشرة في اعداد كبيرة من البشر.

## التحكم في تبدد الكتل

الانهيالات أمثلة مذهلة لظاهرة جيولوجية طبيعية تسمى تبدد الكتل. وهي تشير الى حركة الصخور والتراب أسفل منحدر تحت تأثير الجاذبية. فالتعرية تعمل على تفتيت الصخور والهشيم ليندفع نتاجها أسفل المنحدرات تحت تأثير الجاذبية، ومن ثم يأخذ طريقه الى المحيطات. وبهذه الطريقة يتم بالتدريج تشكيل سمات الأرض الطبيعية.

وتعتبر الجاذبية القوة الفعالة المتحكممة في عملية تبدد الكتل. غير أنه هناك عوامل أخرى تلعب دورا مهما في حركة



حدود الفيضان  
حدود التيهور 1963 - 10.9  
مسار الموجة التي سببها التيهور  
المساحة التي ملأها التيهور 1963

شكل 8 - 2

ارتفاع المياه في بحيرة السد بعد انطلاق جانب الجبل.



الأماكن اشارات المرور تنبهنا الى تدحرج الصخور من فوق المنحدرات المحاذية للطرق العامة، الا ان القليل منا قد شاهد مثل هذه الصخور اثناء حركتها. وبالرغم من ذلك فانها كما يوضح الشكل (8 - 3) غير نادرة الحدوث، بل ان كتل الفلذ الصخرية، التي نشاهدها اسفل المنحدرات، تتجمع بهذه الطريقة. وقد تعمل حركة السقوط هذه الى بدء انواع اخرى من تبدد الكتل. فكما تذكر أن كارثة يونجى الوارد ذكرها اعلاه قد بدأت بسقوط كتلة من على منحدر يكاد يكون عموديا من على قمة جبل نيفادوس هواسكاران.

وتوصف كثير من حركات تبدد الكتل بالانزلاق. وهى حركة تبقى خلالها مكونات الكتلة المتبددة ملاصقة للسطح اثناء حركتها. وقد يكون هذا السطح وجها فاصلا لصدع أو كسر أو مستوى طبقي مواز للمنحدر تقريبا. وعندما يكون سطح الحركة منحنى لانشطار ارضي، تسمى حركة الانزلاق بالهبوط. والجدير بالذكر ان العديد من الناس بما في ذلك الجيولوجيين يستعملون هذا المصطلح الا انه ليس لكلمة الانزلاق أى تعريف محدد في علم الجيولوجيا. وعليه يجب اعتبارها كلمة عامة غير علمية تستعمل في وصف كل أنواع تبدد الكتل المعروفة بما في ذلك تلك التى لا دور لحركة الانزلاق في تكوينها.

والنوع الثالث لحركة تبدد الكتل يسمى التدفق. وهو يحدث عند حركة المواد اسفل المنحدرات كسائل لزج. وأغلب هذه التدفقات تكون مشبعة بالماء وتتحرك على هيئة ألسنة وفصوص. والشكل (8 - 4) يوضح المظهر المميز للتدفق.

#### معدل الحركة

تشمل الاحداث التى سبق ذكرها في مقدمة هذا الفصل حركات سريعة. وهى سواء كانت حطاما صخريا أو كتلا صخرية كبيرة قد تحركت بسرعة تزيد على 200 كيلومتر في الساعة. ويسمى هذا النوع من الحركة السريعة جدا بالتيهور الصخري. ويعتقد بعض الباحثين بان

الميل كان رد فعل المواد بالتحرك اسفل المنحدر لتأخذ وضعا جديدا. وهناك في الطبيعة أمثلة كثيرة عن ذلك. فالمجرى المائى الذى يقوم بجرف جوانبه، والأمواج المرتطمة بقاعدة الاجرف البحرية ما هما الا مثالين مألوفين لنا. كما ان الانسان قد يكون منحدرات شديدة الميل بنشاطه غالبا ما تكون مواقع مثالية لحركة تبدد الكتل.

#### تصنيف وسائل تبدد الكتل

يطلق الجيولوجيون مصطلح تبدد الكتل على عملية معقدة من الحركة. ويتم تصنيفها بناء على نوع المواد ذات العلاقة ونوعية الحركة وسرعتها.

#### نوعية المواد

يعتمد تقسيم تبدد الكتل باستخدام نوعية المواد على ما اذا كانت المكونات متاسكة أو غير متاسكة. فاذا كانت غالبيتها من التربة والهشيم، فان الكتل الحطام والوحل والتراب قد تستعمل لوصفها. اما اذا كانت الكتلة جزءا من الطبقات الصخرية المتاسكة فتستعمل كلمة الصخر في وصف مكوناتها.

#### نوعية الحركة

الى جانب أهمية نوعية المواد المكونة للكتلة المتبددة، تعتبر طريقة حركتها ذات أهمية كذلك. وعموما فان الحركة تقسم الى: السقوط والانزلاق والتدفق.

فعندما تشمل الحركة وقوع قطع يشار اليها بالسقوط وذلك بغض النظر عن حجم هذه القطع. ويميز السقوط المنحدرات الشديدة الميل، والتى يصعب على الحطام الصخري الغير متاسك ان يبقى على سطحها. وقد يقع الصخر في هذه الحالة مباشرة الى قاع المنحدر، وقد يسقط وثبا على بقية مكونات المنحدر. وكثير من حركات السقوط تبدأ نتيجة لعملية التجمد والذوبان، أو عندما تعمل عروق النباتات على تفكيك الصخور وتسليم نتاجها للجاذبية لتأخذ دورها في تحريكها. وبالرغم من اننا نرى في بعض



## الهبوط

يقصد بالهبوط انزلاق كتلة صخرية أو مادة غير متماسكة كوحدة واحدة على سطح منحني (شكل 8 - 6). والهبوط نوع من أنواع تبدد الكتل واسع الانتشار وخاصة في المناطق ذات المكونات الطينية. وهو لا يتميز بحركة سريعة جدا كما انه لا يتعد كثيرا عن منشأه. ويتميز سطح الانسطار الارضى تحت الهبوط بشكل يشبه الملعقة، أى منحني مقعر. ويتكون جرف هلالى عند أعلى الهبوط كما انه تحدث حركة دائرية الى الوراء للمواد المكونة له. وقد يتكون الهبوط من وحدة واحدة أو يكون مركبا من عدة قوالب (شكل 8 - 7). وعند تسرب الماء خلال هذه الشقوق يحدث عدم استقرار في وضع الكتلة، وربما في حركتها مرة اخرى. ويحدث الهبوط عندما يكون المنحدر شديد الميل، حيث تكون مواد اعلى المنحدر متكأة على المواد بقاعدته. وبازالة

التيهور الصخرى المائل لما هو ممين بالشكل (8-5) قد يتحرك سابحا في الهواء عند حركته اسفل المنحدرات، أى أن الهواء المحجوز والمضغوط بين كتلة الحطام الصخرى والمنحدر قد جعل هذه الكتلة قادرة على الحركة فوق السطح على هيئة ملاء مرنة طافية.

ولا تتحرك كل الكتل مثل التيهور، بل الحقيقة ان معظمها بطيء جدا. وأحد أنواع هذه الحركة البطيئة، والذي سيتم شرحه فيما بعد، يسمى بالزحف لا تزيد سرعته على بضع مليمترات أو على سنتيمتر واحد في السنة. وعليه يمكنك أن ترى أن بعض حركات تبدد الكتل تحدث فجأة، والبعض الآخر يحدث بالتدريج. وبالرغم من أن حركة الكتل المتبددة توصف بأنها اما سريعة أو بطيئة الا انه يصعب رسم خط فاصل بينها، وذلك لانتساع مدى معدل الحركة بين طرفيها المتباعدين. هذا وقد تختلف سرعة حركة نوع معين من الكتل المتبددة من وقت الى آخر.



شكل 8 - 4

عند حركة الفتات الصخرى بواسطة التدفق غالبا ما يكون له مظهر الفضوض.



شكل 8 - 3

تجمع الصخور بعد سقوطها أسفل المنحدرات.





شكل 8 - 5

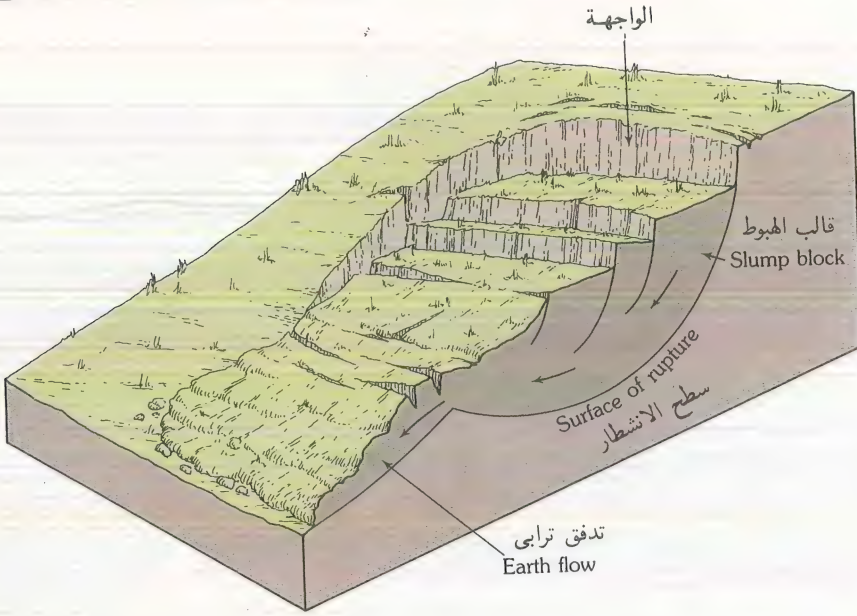
تراكم الفتات فوق مجلد شيرمان بواسطة تيهور صخرى. بدأ التيهور بسبب زلزال شديد في المريخ من سنة 1964 م.

### الانزلاق الصخرى

يحدث الانزلاق الصخرى عندما تنكسر قوالب من الطبقات الصخرية وتتحرك منزلقة أسفل منحدر. وهذا النوع من اسرع تبدد الكتل حركة وأكثرها تدميرا. وعادة ما تحدث الانزلاقات الصخرية عندما تكون الطبقات مائلة أو عندما تكون الفواصل والتشققات موازية لسطح المنحدر. ويتحرك الانزلاق الصخرى عند قطع قاعدة المنحدر، أو عندما تزيد مياه الأمطار أو المياه الناتجة عن ذوبان الجليد من لزوجة الطبقات السفلى، الى درجة يقل فيها الاحتكاك، ويصعب

المواد عند القاعدة تصبح المواد في أعلى المنحدر غير مستقرة وبالتالي تتحرك تحت تأثير الجاذبية. وكما يوضح الشكل (8) فإن الامواج قد عملت على قطع قاعدة الجرف وبالتالي الى هبوطه. وقد يحدث ايضا الهبوط عند زيادة الحمولة عند أعلى المنحدر محدثا ضغطا داخليا على المواد عند القاعدة. ويحدث مثل هذا الهبوط عندما توجد طبقات ضعيفة التماسك غنية بمكوناتها الطينية أسفل طبقات أكثر صلابة ومقاومة مثل الصخور الرملية. فالماء المتخلل للطبقات الرملية يقلل من مقاومة الطبقات السفلى من الطين، مما يدفع بحمولتها الى أسفل المنحدر ناجما عن ذلك انهيار مكوناته.





شكل 8 - 6

يحدث الهبوط بحركة كتلة أسفل منحدر على سطح انشطار منحنى.



شكل 8 - 7

يتكون الهبوط عادة من عدة قوالب كما يبين هذا الهبوط بمقاطعة ماديسون بولاية مونتانا الأمريكية.





شكل 8 - 8

هبوط بونيت نيرن بكاليفورنيا غالبا ما يبدأ الهبوط عندما يصبح المنحدر شديد الميل نتيجة لعوامل التعرية مثل الأمواج.

بحيرة اقتلعت مياهها بيتا كان على ارتفاع 18 مترا فوق مستوى النهر وذلك بعد 18 ساعة من الانزلاق. وفي سنة 1927 فاضت مياه هذه البحيرة وغمرت المنطقة الواقعة تحتها.

لماذا حصل انهيار جروس فنتر؟ شكل (8 - 11) يمثل رسما تخطيطيا لقطاع يوضح جيولوجية المنطقة. لاحظ النقاط التالية: (1) ميل الطبقات في هذه المنطقة 15 الى 16 درجة. (2) الطبقة الطينية الرقيقة تحت طبقة الصخور الرملية. (3) عملت مياه النهر على انقطاع جزء كبير من الطبقة الرملية. أثناء ربيع سنة 1925 تسربت مياه الأمطار الغزيرة والمياه الناتجة من ذوبان الثلوج خلال طبقة الصخور الرملية، مشبعة الطبقة الطينية تحتها. وحيث أن مياه النهر قد اقتطعت جزءا من الصخور الرملية، بقيت هذه الطبقة من غير سند بأسفل المنحدر، ولم تستطع الصمود في مكانها فوق الطبقة الطينية المبللة الرخوة، وعليه شدت الجاذبية الكتلة الى اسفل حيث أن الظروف كانت مهيأة لانهيار لا مفر منه.

### التدفق الطيني

التدفق الطيني نوع من أنواع تبدد الكتل، يشمل اندفاع حطام صخري به كمية كبيرة من الماء. ويميز هذا

على الكتلة اعلاه البقاء في مكانها. وعليه فان الانزلاقات الصخرية تكثر خلال فصول نزول الامطار وذوبان الجليد. كما تشارك الزلازل في دفع حركة الانزلاقات الصخرية وكذلك باقى انواع تبدد الكتل. ففي سنة 1800 تسببت الزلازل بمنطقة نيومديرد بولاية ميسوري الامريكية في انزلاقات على مساحة 13.000 كيلومتر مربع من وادى نهر المسيسيبي. كما أن زلازل منتزه اليبلوستون في 16 أغسطس من سنة 1959 مثال آخر تسبب في انزلاق ضخمة بمضيق نهر ماديسون بولاية مونتانا الامريكية (شكل 8 - 9). ففي لحظات انزلق ما يقدر بحوالى 27 مليون متر مكعب من الصخور والتربة والأشجار داخل المضيق مما ادى الى سد مسار النهر وردم منطقة تخييم وطريق رئيسية.

ويجرى نهر جروس فنتر غربا عند الشمال الغربى لولاية ويومنج الامريكية وهو أحد روافد نهر السنيك. وقد وقع انزلاق بوادى هذا النهر في 23 يونيو من سنة 1925 الى الشرق من مدينة صغيرة، تسمى كيلي، وذلك من الصخور الرملية والطينية والتربة واشجار الصنوبر، في دقائق مكونا سدا يقدر حجمه بحوالى 38 مليون متر مكعب، وبارتفاع بلغ 70 مترا (شكل 8 - 10). وقد انسد مجرى النهر كليا مكونا





شكل 8 - 9

تراكم من الفتات الصخري يقدر بحوالى 27 مليون متر مكعب يسد نهر ماديسون بمونتانا حيث بدأ بواسطة بركان هانيبال فى 17 (أغسطس) 1959 .



شكل 8 - 10

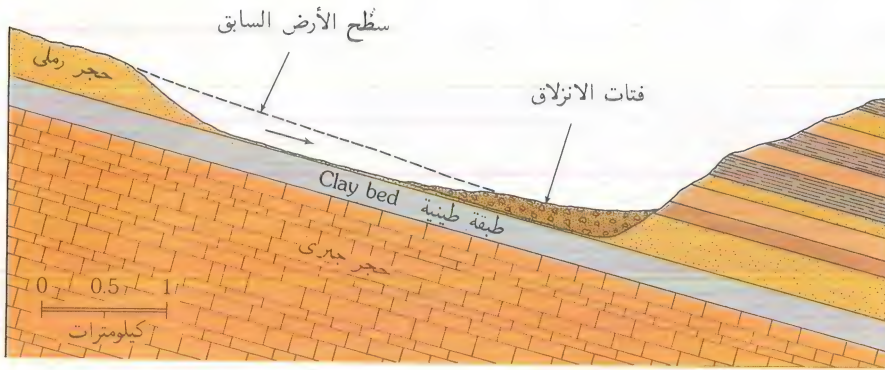
علامات تركها إنزلاق جروس فنتر على جبل شيب .

سهولة. وينتشر التدفق الطيني عند وصوله الى نهاية المضيق ليعطى المنطقة المنبسطة أمامه بخليط من مكوناته المبللة على شكل مروحة. وقد استصلحت الكثير من هذه المراوح الرسوبية ذات المناظر الجميلة، وتم تعميرها دون العلم بخطورة ذلك مما أدى الى الكثير من الكوارث.

وتوجد مثل هذه الرسوبيات فى المناطق البركانية حيث تغطى كميات كبيرة من الرماد البركانى جوانب البركان الشديدة الانحدار. وفى أعقاب هطول الأمطار أو ذوبان

التبدد مجارى الأودية الشبه جافة (شكل 8 - 12). وعند هطول أمطار غزيرة بهذه المناطق تندفع الى داخل المجرى كميات كبيرة من رسوبيات الجانبيين اللذين عادة ما يفتقران الى غطاء نباتى. وينتج عن ذلك تدفق طينى على شكل لسان من التربة والصخور والماء. وعادة ما تكون مكونات هذا التدفق جيدة الخلط ذات قوام قد يكون رقيقا او غليظا. ولكثافته العالية فان التدفق الطينى يكون قادرا على نقل أو دفع جلاميد الصخر الضخمة والاشجار أو حتى المنازل بكل





شكل 8 - 11

قطاع خلال انزلاق جروس فنتز. حدث الانزلاق عند قطع أسفل طبقات الصخور الرملية وعدم استطاعتها البقاء في مكانها فوق طبقة الطين المشبعة.



شكل 8 - 12

(أ) - منظر لتدفق سيلمجليون الطيني من منشأ إلى بحيرة سان كرسوبل. مسافة عمودية تبلغ حوالي 780 متراً منذ حدوثه ما قبل التاريخ لا نعلم مباشرة معدل حركته.

(ب) - بيت أصابته أضرار تدفق طيني على نهر توئل إلى شمال غربي جبل سانت هيلين بشمال غربي أمريكا. جزء من البيت تم اجتثاثه ودفعه على أحد الأشجار.





شكل 8 - 13  
تدفق ترابى.

الجليد تندفع هذه المكونات على هيئة تدفق طينى. ومثال ذلك ما حدث بجبل سانت هيلينز شمال غربى أمريكا وذلك سنة 1980 حيث أدت الحرارة الداخلية المنبعثة من البركان الى اذابة كميات كبيرة من الثلج، مكونا تدفقا طينيا غنيا بالرماد البركاني لينتشر مغطيا مساحات واسعة.

### التدفق الترابى

خلافا للتدفق الطينى الذى عادة ما يكون مقصورا على مجارى المياه فى المناطق الشبه جافة فان التدفق الترابى غالبا ما يحدث فوق سفوح المنحدرات فى المناطق الممطرة. وعند تشبع الهشيم الغنى بالطين فوق سفوح الهضاب، قد ينتقل مندفعاً مسافات قصيرة الى اسفل تاركا علامات مميزة على السطح (شكل 8 - 13). وقد تتفاوت سرعة التدفق الترابى من بضعة أمتار فى الساعة الى عدة أمتار فى الدقيقة متوقفة فى ذلك على شدة الانحدار ونجاس المواد.

وحيث أن التدفق الترابى لزجٌ فان حركته تكون اقل من التدفق الطينى الاكثر سيولة. وإلى جانب حدوث التدفق الترابى حول المرتفعات المعزولة، فهو كثيرا ما يتكون برفقة هبوط كبير وذلك على شكل لسان عند قاعدة الكتلة الهابطة (شكل 8 - 6).

### الزحف

حيث أن الانزلاقات الصخرية والتهورات أكثر أنواع تبدد الكتل اثاراً للمشاهد، الى جانب انها تسبب فى فقدان الآلاف من البشر، فهي تستحق الدراسة المفصلة، وذلك لنتمكن من توقع حدوثها بدقة اكثر، والتنبية عنها، مما يساعد فى انقاذ أرواح كثيرة. ولكن ضخامة حجمها وطبيعة مناظرها، تقدم لنا صورة خاطئة عن قدر اهميتها كوسيلة من وسائل تبدد الكتل. وبالتأكيد فان الحركات الفجائية تعد أقل اهمية من الزحف الذى هو ابطأ حركة وأوضح نشاطا. وفى الوقت الذى تميز فيه الحركات السريعة تبدد الكتل على جوانب التلال والجبال الشديدة الانحدار، فان حركة الزحف

مثلا، يمكن أن تحدث على السطوح القليلة الانحدار، وعليه فانها اكثر انتشارا.

ويشمل الزحف وهو أحد انواع تبدد الكتل حركة التربة والهشيم اسفل المنحدرات. واحد الاسباب الرئيسية للزحف تبادل ظاهرتى تمدد وانكماش مكونات السطح، الناتجة عن ظاهرة التجمد والذوبان أو البلل والجفاف. وكما يوضح الشكل (8 - 14) فان التجمد أو البلل يعمل على رفع التربة فى اتجاه عمودى على المنحدر (الخطوط المتصلة). ومن ثم فان الجفاف أو ذوبان الثلج يسمح للجزيئات بالهبوط الى مستويات اقل ارتفاعا (الخطوط غير المتصلة). وعليه فان كل دورة من التجمد والذوبان، أو البلل والجفاف، تعمل على



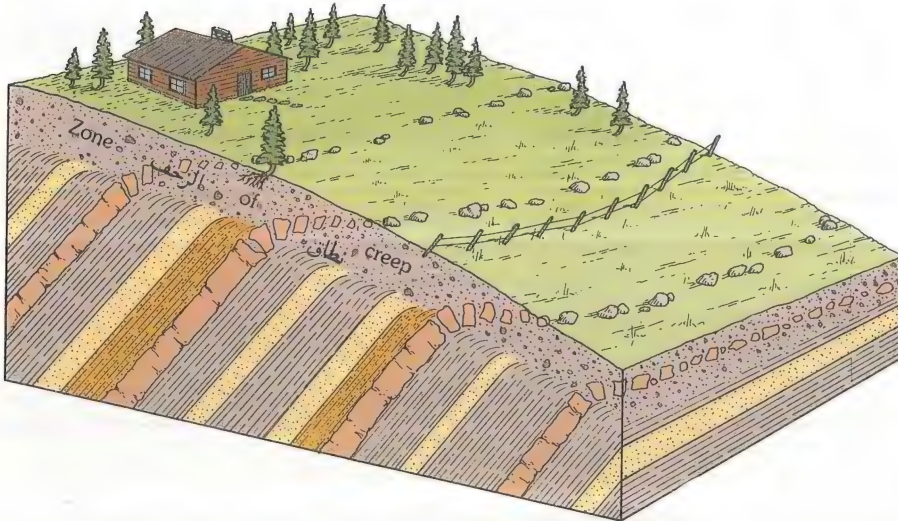
## الجهد السرمدي والتموج الانفرادي

عندما يكون معدل درجة حرارة الهواء الجوى منخفضا باستمرار مما يبقى درجة حرارة السطح تحت الصفر، فان العمق الذى يصل اليه التجمد فى الشتاء يزداد على عمق الدوبان خلال الصيف. وينتج عن ذلك طبقة دائمة التجمد

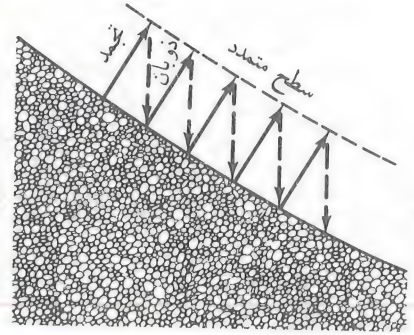


شكل 8 - 15

تقوم الأجزاء العليا من طبقات الطين العمودية والمتأثرة بعوامل التجوية بالزحف أسفل المنحدر.



دفع المكونات الى اسفل قليلا (شكل 8 - 15). وقد يحدث الزحف كذلك فى المناطق التى تشبع بالمياه عقب ذوبان ثلجى أو هطول أمطار غزيرة، مما يفقد التربة قوة تماسكها الداخلية، ويسمح للجاذبية بشدها اسفل المنحدرات. وبالرغم من أن الحركة هنا جداً بطيئة، غير أن نتائجها يمكن أن تشاهد ويمكن التعرف عليها. فغالبا ما يسبب الزحف فى ميل اعمدة الاسلاك الشائكة والهاتف واتشاء جذوع الأشجار (شكل 8 - 16).



شكل 8 - 14

مسار أحد الجزيئات أثناء الزحف. تحدث الحركة باعادة التحدر والانكماش لمكونات السطح.

شكل 8 - 16

بالرغم من بطء حركة الزحف إلا أن نتائجه غالبا ما تكون واضحة.





شكل 8 - 17

توزيع الجمد السرمدي بنصف الكرة الأرضية الشمالي.

درجات. وعند تواجد غطاء نباتي قد تتحرك الطبقة العليا في توجات متتابة كما هو مبين بالشكل 8 - 19.

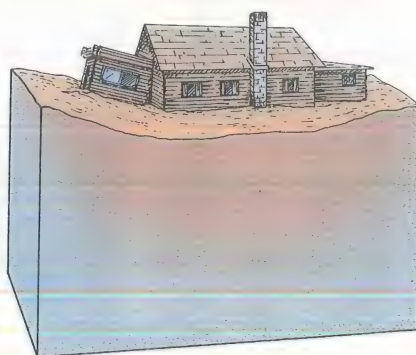
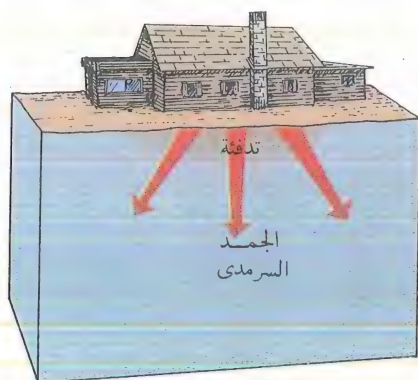
تسمى طبقة الجمد السرمدي. وتوجد مثل هذه الطبقة تحت سطح تبلغ مساحته الاجمالية حوالي 20 في المائة من مساحة اليابسة. فبالإضافة الى وجودها بقارة القطب الجنوبي فانها تنتشر بمساحات واسعة من اليابسة المحيطة بالقطب الشمالي ايضا (شكل 8 - 17).

وعند حدوث تغير في طبيعة السطح، مثل ازالة الغطاء النباتي أو شق الطرق أو تشييد المباني، فان طبقة الجمد السرمدي تذوب، مما يجعل المنطقة عرضة للانزلاق والهبوط. والمشاكل العديدة الناجمة عن النشاط البشري بالقطب الشمالي اثناء الحرب العالمية الثانية وبعدها تبين مدى الحاجة الى تفهم طبيعة الجمد السرمدي (شكل 8 - 18).

وما يعرف بالتموج الانفرادي، وهو نوع آخر من أنواع تبدد الكتل في المناطق المبطنة بالجمد السرمدي، يمكن اعتباره نمط من أنماط الزحف، حيث تتحرك المكونات غير المتناسكة والمشبعة بالماء الى اسفل بالتدريج. ويحدث التموج الانفرادي في نطاق يعلو طبقة الجمد السرمدي. ويسمى بالطبقة النشطة. وهي تتجمد في الشتاء وتذوب مياهاها في الصيف. وحيث أن المياه الناتجة عن ذوبان الجليد لا تستطيع تخلل طبقة الجمد السرمدي، فان الطبقة النشطة تصبح شديدة التشبع وبالتالي تتحرك. ويمكن ان تحدث هذه الظاهرة فوق المنحدرات التي لا يزيد ميلانها على 2 الى 3

الميل





ب

شكل 8 - 18  
منزل متأثر بالجمد السرمدي  
بالاسكا. لاحظ الجانب الأيمن من  
المنزل والذي كانت به التدفئة قد  
هبط أكثر من الجانب الثاني.



شكل 8 - 19  
ثنايا تموجية شمال غربي فير بانكس بالاسكا.



## أسئلة

## للمراجعة :

- 1 - كيف تسبب النشاط البشرى فى كارثة مضيق فايونت؟ وهل كان من الممكن تفادى الكارثة؟
- 2 - اشرح كيف يعمل تبدد الكتل على تشكيل معالم سطح الأرض؟
- 3 - ما هى القوة الدافعة لتبدد الكتل؟
- 4 - كيف تؤثر المياه فى عملية تبدد الكتل؟
- 5 - اذكر أهمية زاوية السكون.
- 6 - ميمز بين السقوط والانزلاق والتدفق.
- 7 - لماذا يتحرك التيهور بسرعة كبيرة؟
- 8 - يتحرك كل من الهبوط والانزلاق الصخرى عن طريق الانزلاق. ما هو وجه الاختلاف بين هاتين الظاهرتين؟
- 9 - ما هى العوامل التى أدت الى الانهيار الصخرى بجروس فنتر؟
- 10 - قارن بين التدفق الطينى والتدفق الترابى.
- 11 - صف حركة تبدد الكتل التى حصلت على منحدرات جبل سانت هيلينز اثناء فترة نشاطه سنة 1980 م.
- 12 - حيث أن الزحف حركة بطيئة جدا، فما هو الدليل على قدرتها للتأثير فى المنحدرات؟ اشرح الدافع المؤثر لتكون مثل هذا النوع من الحركة.
- 13 - ما هى طبقات الجمد السرمدى؟ أى جزء من سطح اليابسة يقع تحت تأثيره؟
- 14 - لماذا تتكون التموجات الانفرادية اثناء الصيف فقط؟



## الكلمات الدالة :

mudflow

solifluction

rock a valanche

permafrost

angle of repose

creep

fall

slump

تدفق طينى

تموج انفرادى

تيهور صخرى

جمد سرمدى

زاوية السكون

زحف

سقوط

هبوط

slide

rockslide

mass wasting

flow

earthflow

انزلاق

انزلاق صخرى

تبدد الكتل

تدفق

تدفق ترابى







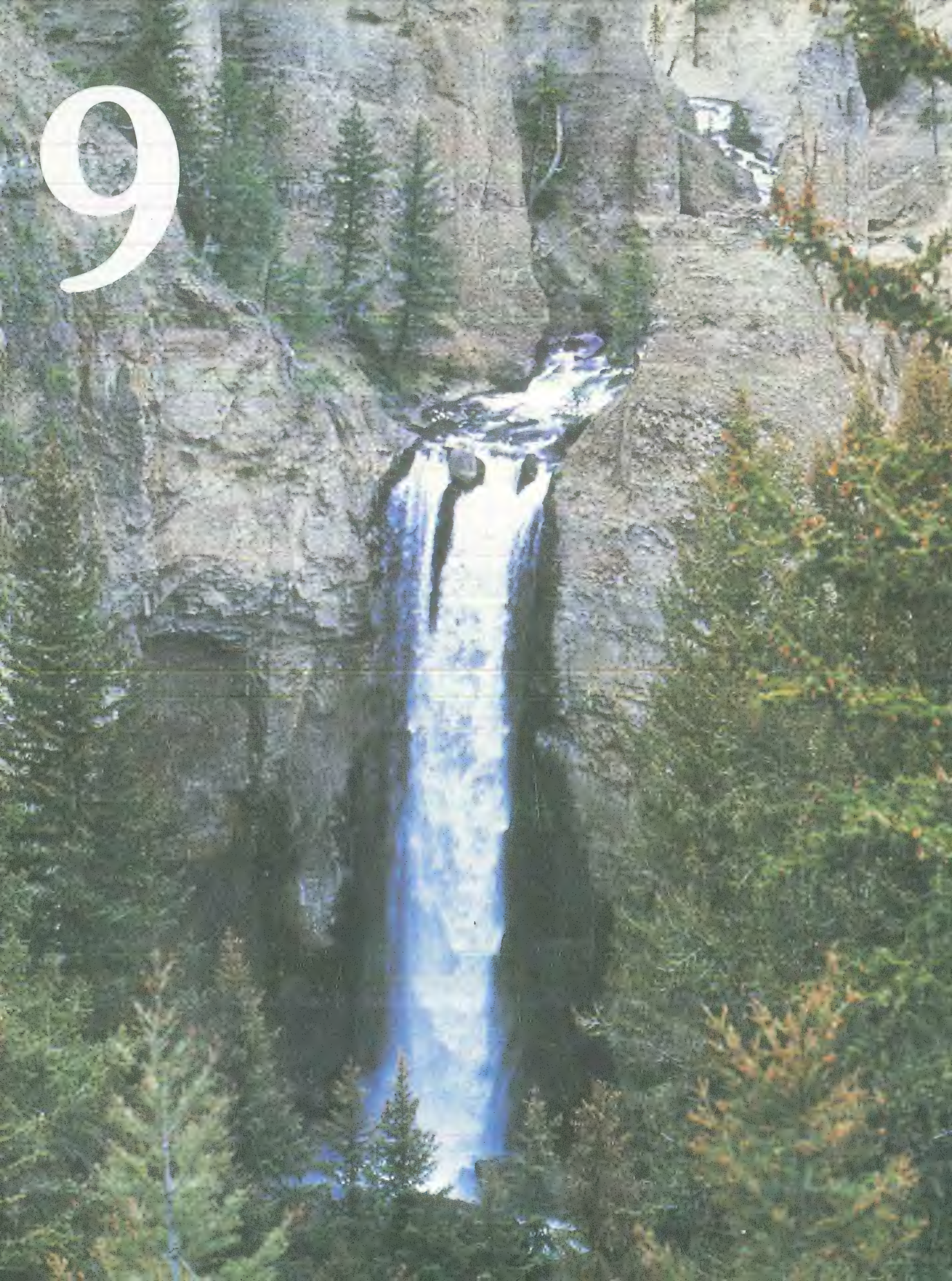
# 9



المياه الجارية



9





## الدورة المائية

### المياه الجارية

- تدفق مجارى المياه

- التغيرات التى تحدث اسفل مجرى النهر

تأثير الحركة العمرانية على كمية الدفع

مستوى القاعدة والأنهار الممهدة

تعرية المجارى المائية

نقل المجارى المائية للرسوبيات

تراكم الرسوبيات بفعل المجارى المائية

- رسوبيات القناة

- رسوبيات سهل الفيضان

- الدلتا والمراوح الركامية

أحواض المجارى المائية

شبكات نظم الصرف

- نظم الصرف

- المجارى السابقة والمركبة للمياه

- التعرية عند المصدر وقرصنة المجارى المائية

مراحل تكوّن حوض الوادى

دورة تطور تشكّل المعالم السطحية

## الدورة المائية

تقدر كمية المياه على الكرة الأرضية بحوالى 1.36 بليون كيلومتر مكعب. وتحوى المحيطات وحدها حوالى 97.2 % من هذه الكمية و 2.51 % الأخرى على هيئة جليد. أما 0.65 % الباقية فتمثل البحيرات والأنهار والمياه الجوفية بالإضافة الى بخار الماء فى الغلاف الجوى. وبالرغم

من ضالة نسبة الماء فى كل من المصادر الأخيرة الا أن كميتها الفعلية ضخمة.

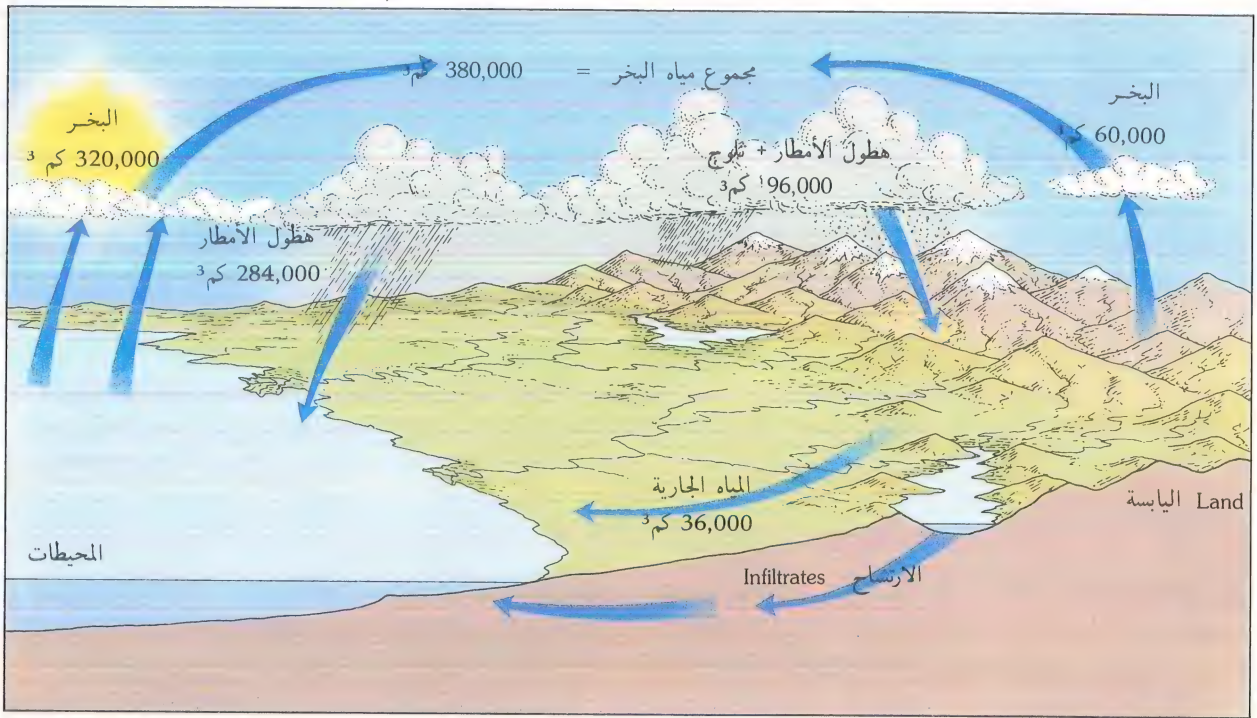
ومصادر المياه مهمة وحيوية لاستمرارية الحياة على وجه الأرض. وبزيادة الطلب على هذه الكمية المحدودة زاد اهتمام العلم باستمرارية تبادل الماء بين المحيطات والغلاف الجوى والقارات. وتعرف هذه الدورة المستمرة لمصادر الأرض المائية بالدورة المائية. وهى تستمد طاقة حركتها من الشمس. ويلعب فيها الغلاف الجوى دورا هاما للربط بين المحيطات والقارات.

ويتبخر الماء باستمرار من المحيطات بكميات كبيرة، ومن القارات بكميات أقل، نافذا الى الغلاف الجوى حيث تحمله الرياح مسافات بعيدة تتكون خلالها السحب. والمياه المتساقطة على المحيطات تكون قد أنهت دورة كاملة، بينما يلزم المياه المتساقطة على القارات الرجوع مرة أخرى الى المحيط لاستكمال هذه الدورة.

ماذا يحدث للماء حال سقوطه على اليابسة؟ ينفذ جزء منه الى داخل الأرض فى اتجاه عمودى ثم جانبى واخيرا ينساب الى البحيرات والأنهار أو مباشرة الى المحيطات. أما فى حالة ما تكون معدلات هطول الأمطار أكثر مما تستطيع أن تمتصه الأرض فان الكمية الزائدة تندفع على السطح لتكون البحيرات والأنهار. والكثير من المياه النافذة الى الأرض (المرتشحة) أو التى تجرى على السطح (الجارية) تأخذ طريقها الى الغلاف الجوى عن طريق البخر مباشرة من التربة والبحيرات والأنهار. كما أن جزءا من المياه المرتشحة تمتصها النباتات ثم تطلقها الى الغلاف الجوى فيما يعرف بالتنح. وفى هذه العملية ينتج حقل المزروعات سنويا كمية من الماء تكفى لتغطية مساحته بعمق 60 سنتيمترا. بينما تنتج الغابات ما مقداره ضعف هذه الكمية. ولأننا لا نستطيع تمييز كمية الماء الصادرة عن البخر من تلك الصادرة عن التنح فان قيمتهما تعاملان كوحدة واحدة تسمى التنح البخرى.

وعند هطول المياه على ارتفاعات عالية أو مناطق قريبة من أحد القطبين فانها لا تتسرب من توهها الى باطن الأرض





شكل 9 - 1

معادلة الأرض المائية. يتم بخر ما مجموعه 320,000 كم³ من ماء المحيطات. يبلغ البخر من اليابسة ما مجموعه 60,000 كم³ من الماء أى ما مجموعه 380,000 كم³ من ماء المحيطات واليابسة. ينزل من هذا المجموع حوالى 284,000 كم³ على المحيطات مباشرة وحوالى 96,000 كم³ على اليابسة. وحيث أن بخر اليابسة يقدر بحوالى 60,000 كم³ من الماء فان الباقي والذي يقدر بحوالى 36,000 كم³ من الماء يعمل على تعرية سطح الأرض في طريقه الى المحيطات.

التقييم الكمي للدورة المائية. وبينما يلاحظ أن كمية الماء المتواجدة في أى وقت من الأوقات على هيئة بخار تكون ضئيلة جدا إلا أن كمية الماء التي تمر بالغلاف الجوى على هيئة بخار سنويا تقدر بحوالى 380,000 كيلومتر مكعب.

وحيث أن كمية البخار بالغلاف الجوى تبقى ثابتة، تقريبا فان كمية المياه المتساقطة على الأرض تساوى كمية البخر. غير أن كمية المياه المتساقطة على القارات مجتمعة تفوق بكثير كمية البخار المغادر لها. وبالعكس فان كمية البخر بالمحيطات تزيد بكثير عن كمية المياه المتساقطة

ولا تتبخر أو تجرى على السطح، بل تبقى كجزء من مَجَالِدٍ أو حقل ثلجي. فالمجالد تخزن مؤقتا كميات كبيرة من المياه بانقاصها من الدورة المائية. فإذا ما اذيت المياه المخزنة في المجالد فان مستوى سطح البحر سيرتفع عشرات الأمتار ليغمر مناطق ساحلية كثيرة أهلة بالسكان. وكما سنرى في الفصل 11 فان عدة كتل جليدية قارية قد تكونت وذابت عدة مرات على مدى المليونى سنة الماضية، وهى بذلك تقوم باخلال انتظام الدورة المائية.

ويمثل الرسم المبين بالشكل 9 - 1 الموازنة المائية أو



تعمل على التعرية فإنها تعتبر من أهم العوامل المساهمة في تشكيل وتهذيب سطح الأرض.

وباختصار فإن الدورة المائية تمثل حركة الماء الدائمة من المحيطات الى الغلاف الجوى، ثم ثانية الى الأرض، ومنها يأخذ الماء مساره الى المحيطات. ويعزى تشكيل سطح الأرض وتعريتها بقدر كبير الى الخطوة الأخيرة من هذه الدائرة، والتي سيتم التركيز عليها في بقية هذا الفصل.

### المياه الجارية

للمياه الجارية تأثير مهم في حياة البشر. فيعتمد على الأنهار في توليد الطاقة وفي النقل بالإضافة الى عمليات الري. وقد لعبت التربة الخصبة المنقولة بفيضاناتها دورا هاما في تقدم الانسان منذ فجر الحضارة الأول. كما لعبت هذه المجارى المائية دورا هاما في تحوير سمات البيئة الطبيعية من حولنا.

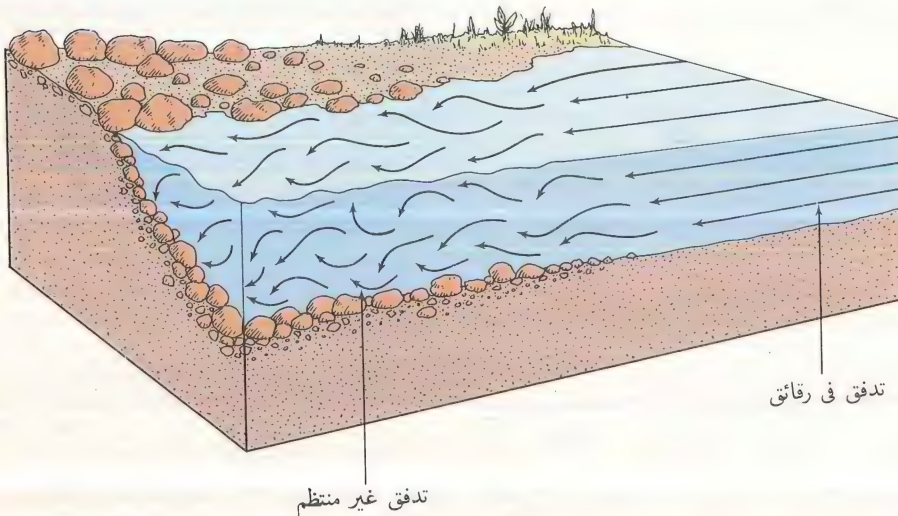
وبالرغم من الاعتماد الدائم للانسان على المياه الجارية، الا أن مصادرها قد حيرته منذ القدم. ولم يتفهم أن الانهار كانت تمتد مياهها من المياه الجارية والباطنية، واللذان يتم

عليها. وحيث أن مستوى سطح البحر لا يتناقص باستمرار فإن المياه الجارية يجب أن تعادل النقص في المياه المتساقطة على المحيطات.

ويعد الدور الذي تقوم به كميات المياه المقدرة بحوالى 36,000 كيلومتر مكعب، والتي تتدفق سنويا فوق السطح تجاه المحيطات ضخما جدا. فقد احسن آرثر بلوم في وصفها حيث كتب:

يقدر معدل ارتفاع القارات عن مستوى سطح البحر بحوالى 823 مترا فاذا افترضنا ان 36,000 كيلومتر مكعب من المياه الجارية تندفع سنويا على منحدر ارتفاعه 823 مترا فإن القوة الناجمة عن ذلك تولد ما مقداره  $9 \times 10^9$  كيلوات. فاذا ما استعملت هذه القوة لتعرية سطح الأرض، فإنها تعادل عمل حصان يحجر مكشطة أو مجرفة بحقل مساحته حوالى الفى متر مربع ليلا ونهارا طوال السنة. وبالطبع فإن جزءا كبيرا من الطاقة الكامنة للمياه الجارية يفقد في صورة حرارة ناتجة عن حركة المياه العنيفة وتناثرها.

وبالرغم من أن نسبة بسيطة من طاقة المياه الجارية



شكل 9 - 2

يمكن ان يحدث التدفق في رقائق فقط عندما تتحرك المياه ببطء في قناة ملساء. وعندما تزيد السرعة أو تصبح القناة خشنة فإن التدفق في رقائق يتحول الى تدفق غير منتظم. وعمليا تتدفق المياه في جميع المجارى المائية في صورة غير منتظمة.



الغنى

رقائق. وعند زيادة السرعة أو ان المجرى يصبح خشناً، فإن التدفق في رقائق يتحول الى تدفق غير منتظم. وعادة ما تتحرك المياه في مجاريها بسرعة تجعل تدفقها غير منتظم. وتعمل حركة الماء في الاتجاهات المختلفة على تعرية قناة المجرى، وكذلك الحيلولة دون ترسب حمولتها المعلقة.

ويأخذ الماء طريقه في المجارى المائية الى البحر تحت تأثير الجاذبية. ويعتمد زمن هذه الرحلة على سرعة الماء داخل المجرى، التى تقاس بالمسافة التى يقطعها الماء خلال وحدة زمنية معينة. فبعض المجارى المائية البطيئة لا تزيد سرعتها على كيلومتر واحد في الساعة بينما بعض مجارى المياه السريعة قد تزيد سرعتها على 30 كيلومتراً في الساعة. وتقدر السرعة عند محطات قياس عديدة على عرض المجرى، وتحسب السرعة بأخذ معدل هذه القراءات، حيث أن سرعة الماء ليست واحدة داخل قناة المجرى. فعندما تكون القناة مستقيمة تكون اقصى سرعة للمجرى عند منتصفه، تحت السطح بقليل، حيث أن قيمة الاحتكاك هنا اقل ما يمكن. وعلى العكس من ذلك فان السرعة تكون عند حدها الأدنى عند الجوانب وقاع القناة، حيث ان قيمة الاحتكاك تكون عند حدها الأقصى. ولا يكون نطاق السرعة القصوى في وسط القناة اذا كانت منحنية أو متعرجة، بل يتحول الى الخارج عند كل ثنية من ثنايا القناة. وكما سنرى فان هذا التحول يلعب دوراً مهماً في تعرية القناة عند ذلك الجانب.

ولسرعة المجرى المائى علاقة مباشرة بمقدرته على التعرية والنقل. وعليه فان للسرعة أهمية كبرى، حيث أن تغير بسيط في قيمتها يؤدي الى التغير في كمية حمولة المجرى من الرسوبيات. وتدخل عدة عوامل في تحديد سرعة المجرى، وبالتالي قدرته على التعرية. وتشمل هذه العوامل: (1) المال و (2) شكل وحجم وخشونة القناة و (3) كمية الدفق.

وبالتأكيد فان اكثر هذه العوامل وضوحاً هو المال أو

تغذيتها بمياه الأمطار والثلوج، الا بحلول القرن السادس عشر.

وتبدأ المياه الجارية حركتها في صفائح رقيقة وعريضة فيما يسمى بالتدفق الصفحي. وتعتمد كمية الماء المتحركة بهذه الكيفية، بدلاً من تسربها الى باطن الأرض، على سعة التسرب للتربة. وتعتمد سعة التسرب على عوامل عدة تشمل: (1) شدة ومدة الأمطار و (2) رطوبة التربة السابقة و (3) بنية التربة و (4) ميل السطح، و (5) الغطاء النباتي. فعند تشبع التربة ينساب الماء في صفيحة لا يتعدى سمكها البضعة ملليمترات. وتبقى هذه الصفيحة المتحركة دون احتوائها في مسارات مدة قصيرة تبدأ بعدها في تكوين خيوط من التيارات، ثم قنوات صغيرة تسمى الجداول لينتقل الماء بعدها الى المجرى المائى.

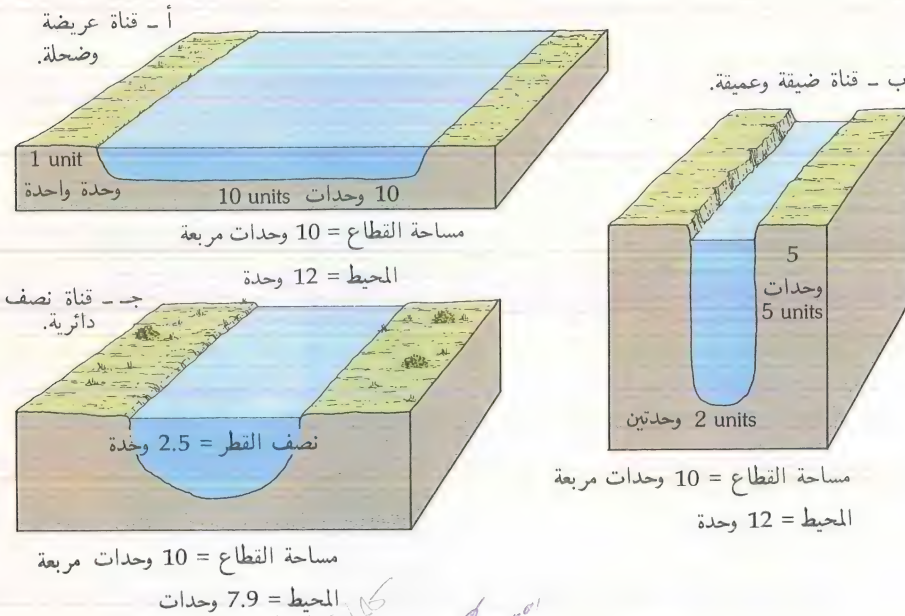
وتستعمل كلمة المجرى المائى هنا للدلالة على القنوات المائية صغيرها وكبيرها. وتستعمل كلمة النهر للدلالة على مجرى مائى تصب فيه عدة روافد. وسيتم التركيز في باقى هذا الفصل على جزء الدورة المائية ذى العلاقة بالمجارى المائية وحركة مياهها. وستتم مناقشة مميزات مجارى المياه في المناطق الرطبة، غير انها كما سنرى بالفصل 12، لها أيضاً أهمية ودور فعال في المناطق الجافة.

### تدفق مجارى المياه

قد ينساب الماء بالمجارى المائية بأحد طريقتين: تدفق في رقائق وتدفق غير منتظم. وكما يبين الشكل (9 - 2)، فان جزئيات الماء تتحرك في مسارات مستقيمة دون الاختلاط عند تدفقها في رقائق. وبالعكس من ذلك فان جزئياته تندفع في اتجاهات مختلفة وبصورة عشوائية عند التدفق غير المنتظم.

وتعتبر سرعة المجرى المائى العامل الرئيسى الذى يقرر نوعية حركة الماء في كونها تدفق رقائقى أو غير منتظم. فلا بد من السرعة البطيئة في قناة ملساء لامكانية تدفق الماء في

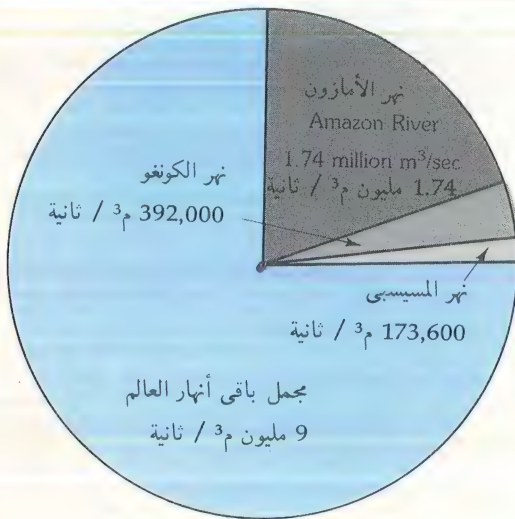




شكل 9 - 3

تأثير شكل القناة على السرعة. بالرغم من تساوى القطاع المستعرض لجميع القنوات فإن القناة نصف الدائرية بها أقل كمية من الماء على اتصال مباشر بالمحيط وعليه بها قيمة من الاحتكاك أقل مما يجعل الماء يتحرك بها أسرع من القناتين الآخرين مع العلم ان باقى المعطيات متساوية.

قيمة منحدر المجرى. وهو يعرف بمقدار الانخفاض العمودى للمجريان نسبة الى مسافة ثابتة. ويختلف الممال من مجرى الى آخر، كما يختلف من مكان الى آخر على طول المجرى الواحد. وعلى سبيل المثال يقدر ممال الجزء السفلى من نهر المسيسيبي بحوالى عشرة سنتمترات للكيلومتر الواحد أو أقل. وعلى العكس فإنه يبلغ ممال القنوات المائية الجبلية أكثر من 40 مترا للكيلومتر الواحد. أى أكثر من 400 ضعف ممال نهر المسيسيبي. وكلما زاد الممال كلما زادت طاقته على التدفق. فإذا كان هناك مجريان متماثلان فى خصائصهما عدا الممال، فإن المجرى الأكثر ممالا ستكون سرعته أكبر من المجرى الأقل ممالا.

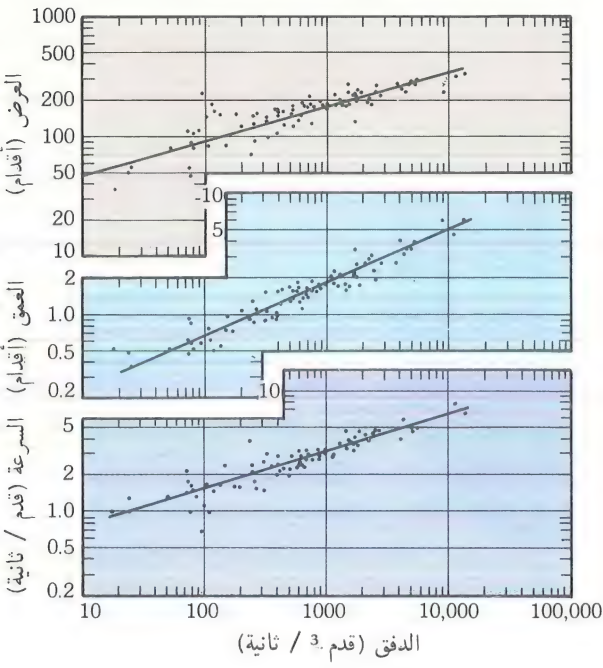


شكل 9 - 4

يساوى تدفق نهر الأمازون 10 أضعاف تدفق نهر المسيسيبي (أكبر أنهار أمريكا الشمالية) كما يساوى 15 فى المائة من مجموع تدفق المياه العذبة لجميع أنهار العالم.

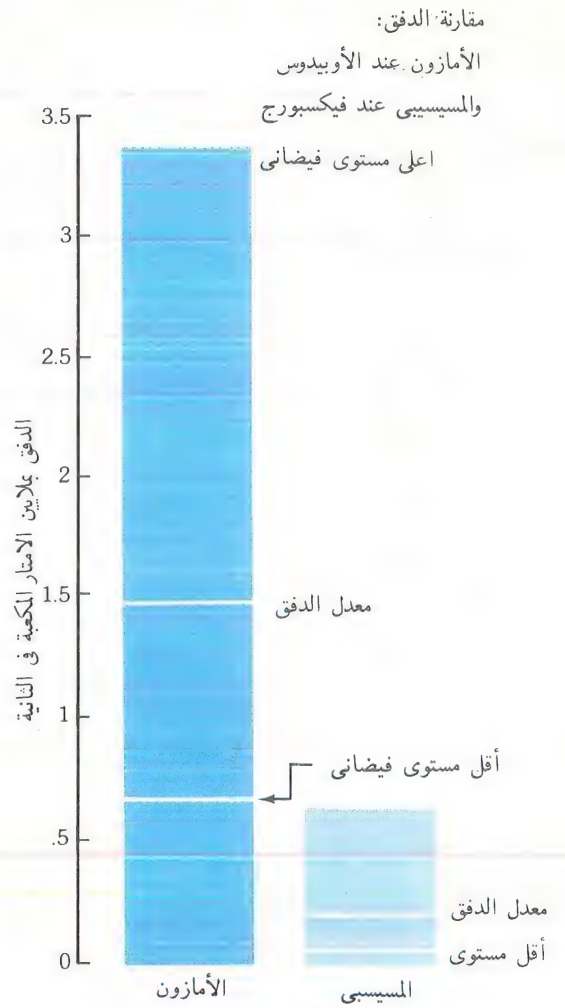
ويقرر شكل القناة كمية الماء التى على اتصال مباشر بسطح المجرى، وبالتالي شدة مقاومة الاحتكاك. وانسب أشكال القنوات ذو الحد الأدنى لمحيط قطاعه. وبين الشكل (9 - 3) ثلاثة أنواع من القنوات. وبالرغم من ان مساحات قطاعاتها متساوية، فإن القناة النصف دائرية بها كمية من الماء ملائمة لقناتها أقل من القناتين الآخرين وبالتالى فإن شدة الاحتكاك بها أقل. ونتيجة لذلك فإنه اذا تساوت كل





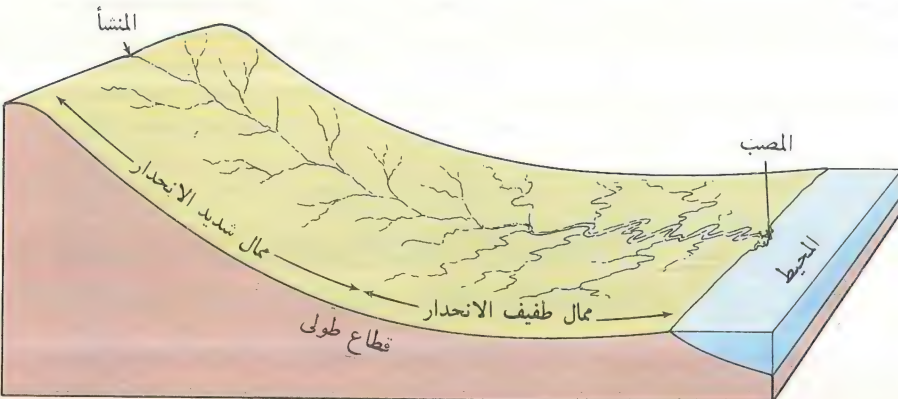
شكل 9 - 6

علاقة العرض والعمق والسرعة بكمية دفق نهر الباورد بولاية مونتانا الأمريكية. فزيادة الدفق يزيد العرض والعمق والسرعة على التوالي.



شكل 9 - 5

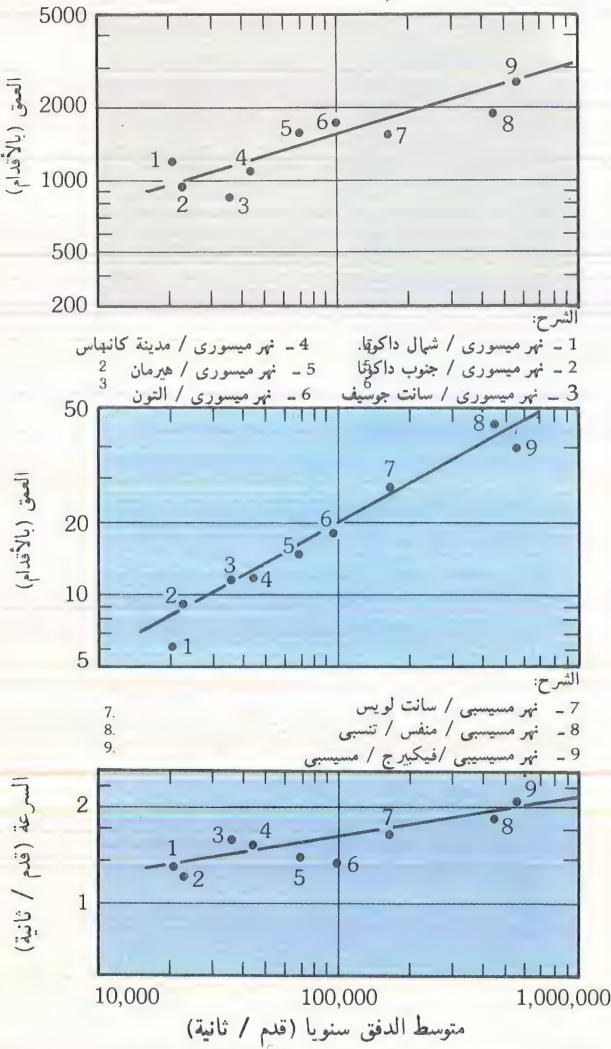
تبين هنا المعلومات من نهري الأمازون والميسيبي أن الدفق قد يتباين بشكل كبير.



شكل 9 - 7

قطاع طولى بطول النهر. لاحظ تقعر خط المسار مع شدة انحداره أول المجرى وقلة المجال أسفله.





شكل 9 - 8

كما توضح المعلومات المتحصل عليها عند نقاط عدة بنهرى ميسورى والميسيسى فان قيمة الدفع والسرعة وعمق القناة وعرضها تزيد بزيادة المسافة تجاه مصب المجرى.

الزائد يعمل المجرى المائى على زيادة عرض وعمق قناته. وكما رأينا اعلاه فان زيادة حجم القناة تعنى ان نسبة اقل من الماء ستكون ملائمة للقناة، مما يعنى نقصان شدة الاحتكاك بقاع وجوانب القناة. وبالتالي فان نقصان شدة الاحتكاك ينتج عند تدفق اكثر تناسقا.

العوامل الاخرى فان سرعة الماء ستكون اكبر فى القناة النصف دائرية.

ويؤثر كذلك حجم القناة وخشونة سطحها فى شدة الاحتكاك. فزيادة حجم القناة تنقص من نسبة المحيط الى مساحة القطاع العرضى، وبالتالي تزيد من قوة اندفاع الماء. أما تأثير خشونة القناة فهو واضح، حيث أن القناة الملساء تسمح بتدفق متناسق. بينما القناة الخشنة والمملوءة بجلاميد الصخر تحدث تدفقا غير منتظم، وبالتالي تعيق حركة الماء داخل القناة.

وتعرف كمية الدفع بمجرى مائى، بكمية الماء المندفعة عند نقطة معينة من النهر خلال وقت معين (يقاس عادة بالامطار المكعبة أو الاقدام المكعبة فى الثانية). وبحسب الدفع بضرب مساحة قطاع القناة فى سرعة الماء : كمية الدفع (م<sup>3</sup> / ثانية) = عرض القناة (أمتار) × عمق القناة (أمتار) × السرعة (متر / ثانية).

وعلى سبيل المثال فان كمية دفع نهر الميسيسى تقدر بحوالى 17,715 مترا مكعبا فى الثانية. وبالرغم من ضخامة هذه الكمية الا انها لا تقارن بكمية نهر الامازون، وهو اكبر الانهار فى العالم، التى تفوقها بأكثر من عشرة اضعاف (شكل 9 - 4). وعلى كل حال فان كمية دفع نهر الامازون تقدر بحوالى 15 بالمائة من مجموع دفع المياه الحلوة الى جميع محيطات العالم. فدفع يوم واحد فقط يكفى مثلاً لاستهلاك مدينة نيويورك لمدة تسع سنوات.

وكما يوضح الشكل 9 - 5 فان تدفق نهري الامازون والميسيسى يتباينان بتباين كمية الامطار أو المياه الناتجة عن ذوبان الجليد. واذا ما تغيرت كمية الدفع فان العوامل التى سبق ذكرها تتغير تباعا. فزيادة الدفع ينجم عنها زيادة عرض أو عمق القناة، أو قد ينتج عنها زيادة السرعة، أو قد تتغير هذه المعطيات فى مجموعات مختلفة. فقد بينت القياسات ان زيادة الماء تؤدي الى زيادة عرض وعمق القناة وسرعة الماء على التوالى (شكل 9 - 6). ولتفسير أمر الماء



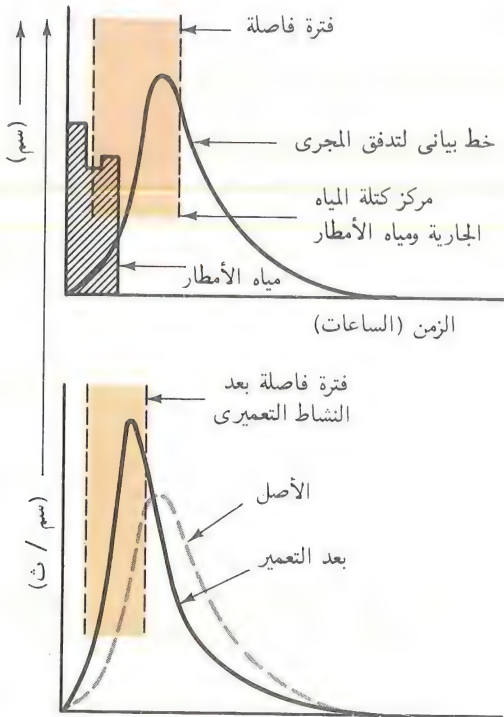


شكل 9 - 9

فيضان نهر توبيكا بكانساس في الصيف (يوليو) سنة 1951 .

### التغيرات التي تحدث أسفل مجرى النهر

من أحد فوائد دراسة المجارى المائية فحص قطاعها الطولى من المنبع أو المصدر الى المصب أو نقطة التقائه بجسم مائى آخر. وبتفحص الشكل 9 - 7 يتضح أن من أوضح مميزات القطاع الطولى، هو تناقص مماله من المنبع الى المصب. وباستثناء بعض عدم الانتظام فى أجزاء من المجرى، فإنه يأخذ شكل منحنى مقعر. ويبين القطاع الطولى تناقص الممال تجاه مصب المجرى. ولمعرفة كيف تتغير باقى العوامل أسفل المجرى، فإنه يلزم بعض القياسات وتدوين المشاهدات الدالة على ذلك. فعند قياس كمية الدفق على محطات بطول المجرى، يلاحظ أن قيمتها تتزايد تجاه المصب. غير أن ذلك متوقع حيث ان المزيد من الروافد تلتحق بالمجرى الرئيسى كلما اقتربنا من مصبه. وبالإضافة الى ذلك فإنه فى المناطق المطرة تضاف كميات من الماء باستمرار من المياه الباطنية الى المجرى الرئيسى. وبناء عليه فإن عرض وعمق المجرى وسرعة مياهه يجب أن تتغير كاستجابة لزيادة حجم الماء داخل المجرى. وقد تبين أن التغيرات فى هذه العوامل التي تحدث أسفل المجرى تتفاوت بطريقة مماثلة لما يحدث عندما يزداد التدفق فى مكان ما على طول المجرى، أى أن المجرى يزداد بانتظام فى العرض والعمق والسرعة. ويوضح الشكل 9 - 8 هذه التغيرات بجزء من نهري ميسورى والميسيسبى.



شكل 9 - 10

رسم بياني لوضع مائى عام. (أ) - الفترة الفاصلة بين زمن هطول المطر وحدث الفيضان. (ب) - نقص الفترة الفاصلة وارتفاع مستوى الفيضان نتيجة للنشاط العمرانى.



وعند تحول مساحة غير عامرة الى موقع نشاط عمراني، فان ذلك يؤثر على مجارى مياهها. ويمثل الشكل (9 - 10 ب) مدى هذا التأثير. حيث ان قمة منحني الدفق عند حدوث الفيضان تكون اعلى بعد النشاط العمراني من قمة المنحنى قبل ذلك. فرصف الشوارع والمحطات وتشبيد المباني، يغطي مساحة من السطح كان ينفذ من خلالها جزء من الماء الى باطن الأرض، مما ينقص من كمية المياه المرشحة، ويزيد من مقدار الدفق، وحيث ان قيمة كمية المياه النافذة الى باطن الأرض قليلة فان الانسياب في مجارى المياه بالمدن التي يتم امدادها من المياه الباطنية يكون ضئيلاً جداً. وكما يتوقع فان درجة تأثير هذه العوامل تتناسب ومساحة الأراضي ذات السطح عديمة النفاذية. والنشاط العمراني هو فقط احد الامثلة لاعاقة الانسان للمسارات الطبيعية للمياه. فهناك عدة وسائل لاعاقة المجارى المائية بسبب تعمير الاراضى، كما ان الانسان يحاول بعدة طرق التحكم في سير هذه المجارى والتي سيتم التعرض للبعض منها في بقية هذا الفصل.

### مستوى القاعدة والأنهار الممهدة

في سنة 1875 اشار الجيولوجى جون ويسلى بول الى ان هناك حداً لا يتعداه النهر في تعريته لقاعدته والذي اسماه بمستوى القاعدة. وبالرغم من ان الفكرة واضحة غير انها مهمة جداً في دراسة نشاط مجارى المياه. ويعرف مستوى القاعدة بأقل نقطة يمكن ان يصل اليها النهر في تعرية قناته. وهذا المستوى يمثل مستوى دخول المجرى المائى للمحيط أو البحيرات أو مجرى مائى آخر. ويعزى ضالة المال عند مصب المجارى المائية الى مستوى القاعدة، حيث أن المجرى يقارب وصوله الى المستوى الذى لا يستطيع النزول عنه. وقد وجد بول نوعان من مستوى القاعدة حيث كتب:

يمكننا اعتبار مستوى سطح البحر مستوى القاعدة الاكبر حيث انه لا يمكن تعرية اليابسة

والزيادة في سرعة تدفق الماء اسفل المجرى تتضارب والمفهوم العام عن المياه المندفعة بالمسالك الجبلية من جهة والانهار العريضة الرائقة في المناطق المنبسطة من جهة اخرى. ففي الوقت الذى تظهر فيه المجارى الجبلية وكأنها السيل الجارف فان معدل سرعتها غالباً ما تكون اقل من سرعة الماء بالقرب من المصب. ويعزى هذا الاختلاف الى نظام الصرف بالقناة الاكثر اتساعاً اسفل النهر.

وعند بداية المجرى حيث الانحدار الشديد يتدفق الماء في مجرى ضيق نسبياً ومزدحم بالجلاميد الصخرية مما يعيق حركته ويدفعه في اتجاهات مختلفة. وبعد مسافة اسفل المجرى يقل حجم مواد القاع مما يقلل من مقاومة التدفق بالاضافة الى ان اتساع المجرى وزيادة عمقه تزيد من ملءته للزيادة في كمية التدفق.

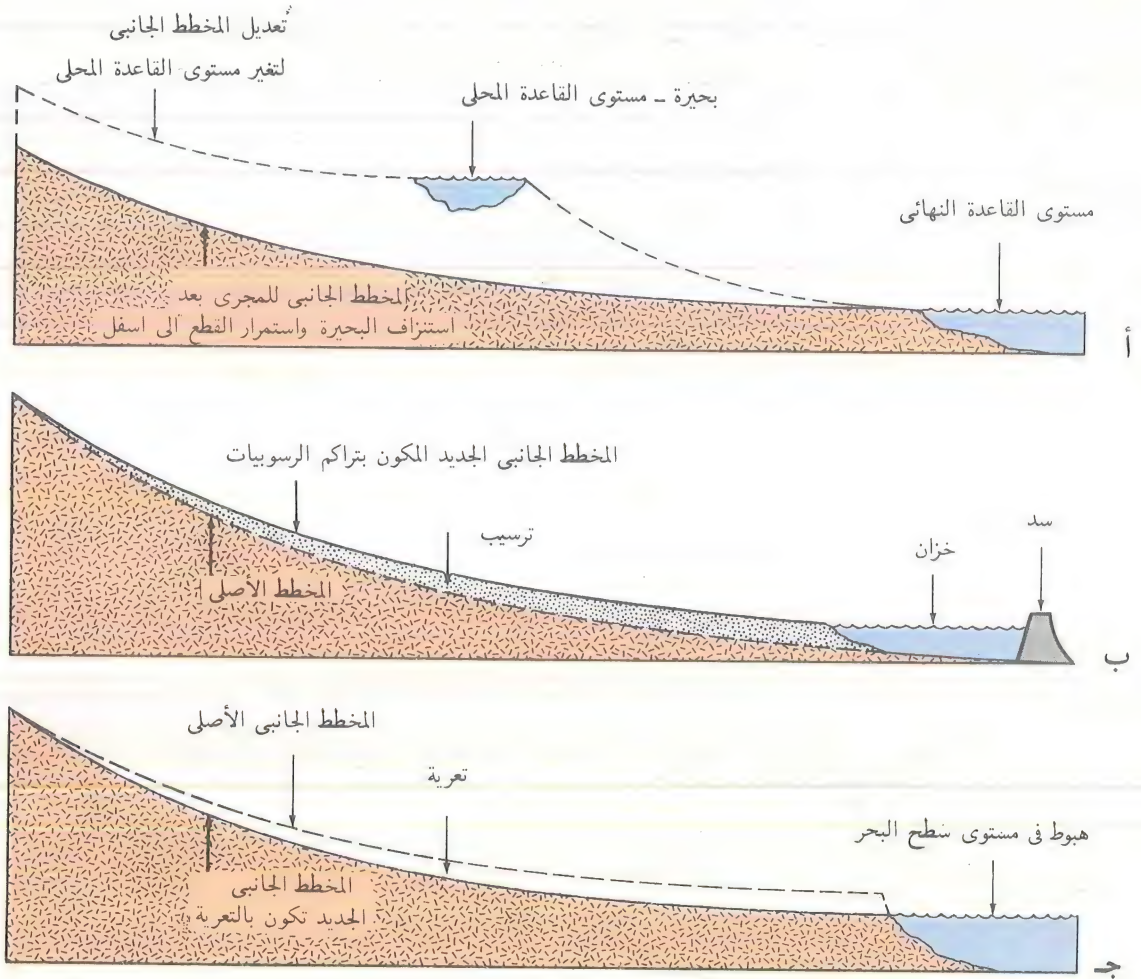
وباختصار فقد رأينا ان هناك تناسباً عكسياً بين المال وكمية الدفق، فكلما كان المال عالياً تناقص الدفق وكلما كان الدفق قوياً تضاعل المال. وبمعنى آخر يستطيع المجرى المائى ان يبقى على سرعة عالية بالقرب من المصب بالرغم من ضالة ماله مقارنة بجزء من المجرى العلوى وذلك لزيادة كمية الدفق وقناته الملساء (القاع) والمتسعة.

### تأثير الحركة العمرانية على كمية الدفق

عند هطول الأمطار تزيد قيمة الدفق، وبالتالي تزيد كمية الماء على مقدرة القنوات لاحتوائها، حيث ينساب الماء على الضفتين في شكل فيضان (شكل 9 - 9). والفيضانات ظاهرة طبيعية متوقعة غير ان شدة الفيضانات تزيد بزيادة تعمير المدن.

ويمثل الشكل (9 - 10 أ) حالة فرضية توضح علاقة توقيت العاصفة المطرية بحدوث الفيضان. لاحظ أن مستوى الماء في المجرى لا يرتفع بمجرد هطول المطر، حيث ان الماء يحتاج الى وقت ليتحرك من مكان نزوله الى المجرى. ويسمى هذا الوقت الفترة الفاصلة.





شكل 9 - 11

(أ) - تأثير مستوى القاعدة المؤقت على المخطط الجانبي للمجرى. (ب) - التعديلات فى مخطط المجرى نتيجة التغير فى مستوى القاعدة. (ج) - التعديلات التى تحصل بانخفاض مستوى القاعدة.

المستويات الامكانية على الحد من مقدرة المجرى على التعرية الى حد ما. فمثلا عند دخول مجرى مائى الى بحيرة فان سرعته سرعان ما تقارب الصفر وبالتالي تحد من قدرته على التعرية تحت مستوى سطح الماء بالبحيرة، وذلك بأى نقطة على طوال المجرى قبل البحيرة (شكل 9 - 11 أ). وقد لا ينظر الى البحيرات أو الصخور الصلبة على انها مؤقتة ولكنها تعتبر جيولوجيا وعلى المدى الطويل ظواهر غير دائمة. فحتى البحيرات الكبيرة تعمل متنفساتها المائية على

دون مستواه ولكننا قد نجد ولأسباب مؤقتة عدة مستويات أخرى....

ويشار الآن الى مستوى سطح البحر الذى اسماه بول بمستوى القاعدة الأكبر بمستوى القاعدة النهائى. أما مستوى القاعدة المحلى أو المؤقت فيشمل البحيرات والصخور ذات المقاومة العالية، الى جانب مجارى المياه، الرئيسية التى تعمل كمستوى قاعدة لروافدها. ولكل هذه





شكل 9 - 12

(أ) - فجوات درديرية بمجرى نهر  
جيمز تم الكشف عنها وقت  
انخفاض مستوى الماء بالنهر. (ب) -  
تعمل الحصى في حركة دائرية تشبه  
آلة الثقب وذلك لتكوين الفجوات  
الدرديرية.

الماء المتجمع خلف السد يعمل على رفع مستوى القاعدة بالنهر (شكل 9 - 11 ب)، وعليه فان الممال تجاه مصدر النهر فوق مستوى السد ينخفض مسببا نقصان السرعة وبالتالي قدرته على حمل الرسوبيات. وهنا يكون النهر غير قادر على نقل كل حمولته، ومن ثم يرسبها في عملية رفع لمستوى مجراه.

استنزاف مخزونها عن طريق تعميق قنواتها. وعلى المدى الطويل تعمل مجارى المياه على تعرية هذه القنوات مهما كانت صلابة قاعدتها. وعليه فان البحيرات والصخور تعمل كعوائق مؤقتة لتعميق المجرى المائى لقناته. وأى تعديل فى مستوى القاعدة ينجم عنه رد فعل لمعادلة نشاط النهر. فعند بناء سد على مجرى أحد الأنهار فان



عنها انطلاق الماء في دوامات واتجاهات مختلفة. ومثل هذه الحركة تعمل، عندما تكون بقوة كافية، الى اقتلاع جزئيات مكونات القناة وترفعها وسط المياه المندفعة. وبهذه الطريقة تعمل قوة المياه الجارية على تعرية المواد عديمة التماسك المحكم. وكلما زادت قوة تيار الماء كلما زادت مقدرته على التعرية. وفي بعض الاحيان يتم دفع الماء بقوة خلال الشقوق وبين السطوح الطبقيّة ليخلع اجزاء من مكونات قاع قناة المجرى الصخرية.

وبملاحظة مجرى مائي عكر يتبين مقدرة التيارات المائية على رفع ونقل حطام الصخر، غير ان مقدرة المجرى على تعرية الصخور الصلبة ليست واضحة بنفس المقدار، وكما ان ورق السنفرة أو الورق الرمل قادر على اذابة قطعة من الخشب فان الجزئيات الصلبة التي يحملها الماء (وبخاصة الرمل والجروول) قادرة على كشط قاعدة القناة الصخرية. وكثير من الممرات الضيقة الشديدة الانحدار، والتي تم قطعها بواسطة القذف المتواصل للحبيبات تجاه قاعدة المجرى وجانبيه، لخير دليل على مقدرتها على التعرية. وبلاضافة الى ذلك فانه يتم كشط الحبيبات المحمولة بدفعها قبال بعضها البعض، أو بارتطامها بجانبى المجرى. وعليه فبواسطة الاحتكاك والكسر والدفع والقذف يعمل الكشط على تعرية الطبقات وبالتالي صقل وتشذيب جزئيات الصخر.

وتوجد بالكثير من قيعان المجارى فجوات دائرية تعرف بالفجوات الدردورية (شكل 9 - 12) وهي تتكون بحركة الحصى والرمال في شكل دوامة، حيث تعمل حركتها الدائرية كأداة قطع لحفر هذه الفجوات. وعند تلاشي حبيبات الرمل والحصى يتم استبدالها بعدد آخر في عملية مستمرة لحفر قاع المجرى لينتج عنها فجوات قد تصل الى عدة امتار في قطرها وعمقها.

### نقل المجارى المائية للرسوبيات

تعتبر مجارى المياه من أهم عوامل التعرية، ليس فقط

وتستمر هذه العملية حتى يصل النهر مرة اخرى الى المال الذي يمكنه من نقل حمولته. وسيكون القطاع الجانبي الجديد مماثلاً لما كان عليه القطاع القديم، فيما عدا كونه اكثر منه ارتفاعاً نسبة الى مستوى البحر.

واذا ما حصل انخفاض في مستوى القاعدة، اما بارتفاع مستوى الأرض أو انخفاض مستوى سطح البحر، يعمل النهر مرة اخرى على معادلة ذلك. وهنا يكون النهر اعلى من مستوى القاعدة وذو طاقة اضافية وعليه سينتجه الى قطع وخفض مستوى قناته (شكل 9 - 11 ج). وتبدأ التعرية هنا بالقرب من مصبه النهرى، وتتجه الى اعلاه حتى يتم تعديل شكل القطاع الجانبي على طول المجرى.

وملاحظة تعديل مجرى مائي لقطاعه كرد فعل لأى تغيير في مستوى القاعدة قد ادى الى التوصل الى فكرة الانهار الممهدة. فالنهر الممهّد ذو منحدر متناسب مع باقى مواصفات القناة الكافية فقط لنقل حمولته. وعموماً فان النهر الممهّد لا يعمل على التعرية ولا الترسيب ولكنه يكتفى بنقل حمولته. وعند وصول مجرى مائي الى حالة التعادل يصبح ذو قدرة تنظيمية ذاتية حيث ان اى تعديل في أحد معطياته ينجم عنه رد فعل من باقى المعطيات لمعادلته. وبالرجوع مرة اخرى الى مثالنا اعلاه، لحالة النهر الذى يعمل على معادلة هبوط مستوى قاعدته، نجد انه لن يصبح ممهداً اثناء عملية تعميقه لمجره وذلك حتى تتوقف هذه العملية.

### تعرية المجارى المائية

قد تقوم المجارى المائية بتعرية قناتها بعدة طرق: برفع المواد غير التماسكة وبواسطة الكشط أو عن طريق اذابة. ولا تعتبر الطريقة الاخيرة ذات اهمية كبيرة. فبالرغم من ان اذابة بعض مكونات القناة الصخرية قد يساهم في تعريتها، الا ان معظم المواد الذائبة في مياه المجارى المائية مصدرها المياه الجوفية.

وكما عرفنا فيما سبق ان حركة الماء غير المنتظمة ينتج



ويُعبّر عن هذه الكمية بوحدة أجزاء المادة المذابة بليون وحدة من الماء (جزء في المليون). وقد تصل هذه الكمية ببعض الأنهار إلى 1000 جزء في المليون. إلا أن معدل الكمية المذابة لأنهار العالم تتراوح بين 115 و 120 جزء في المليون. وتدفع مجارى مياه العالم إلى المحيطات بحوالى 4 بليون طن متري من المواد كحمولة مذابة.

ومعظم المجارى المائية (ولكن ليس جميعها) تحمل جل حمولتها معلقة (شكل 9 - 13). وبالتأكيد فإن تعكير مياه المجارى الناتج عن هذه الحمولة واضح لكل ذى عينين. وفي العادة تكون الحمولة المعلقة من الرمال الدقيقة والطين والغرين، غير أنه في حالة الفيضانات قد تشمل محتويات أكبر حجما حيث تزيد نسبة الحمولة المعلقة بشكل ملحوظ. فنهروانج هو الصينى (النهر الأصفر) قد قدرت حمولته أثناء الفيضانات بما يساوى وزن المياه الحاملة له. وتوصف مثل هذه الأنهار بأنها غليظة القوام عند الشرب ورقيقة القوام عند الزراعة.

ويتحكم في كمية مواد الحمل المعلق عاملان: سرعة حركة الماء وسرعة ترسب حبيبات هذا الحمل. وتعرف سرعة الترسيب بالسرعة التى تفوق بها الجزيئات فى سائل راكد. وكلما زاد الحجم كلما زادت سرعة الترسيب. وبالإضافة إلى الحجم فإن للشكل وللثقل النوعى للجزيئات تأثيرا على سرعة ترسيبها. فالجزيئات المفلطحة ترسب بسرعة أقل من الجزيئات الكروية الشكل والأقل منها كثافة. وكلما بقيت

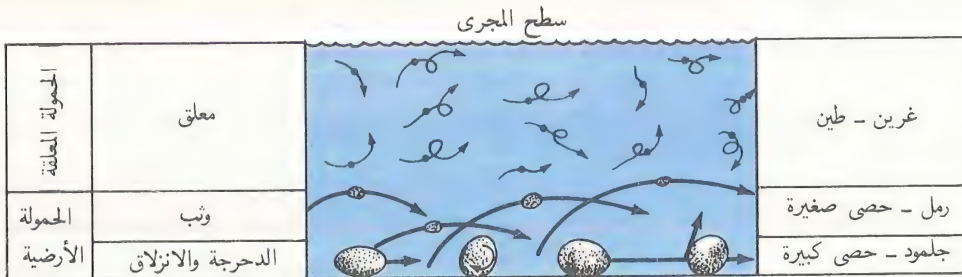
لقدرتها على قطع قنواتها، ولكن أيضا لفاعليتها في نقل كميات مألولة من الرسوبيات الناتجة عن عملية التجوية. وبالرغم من أن عملية تعرية قناة المجرى تساهم بقدر كبير في حمولة مجارى المياه، إلا أن معظم هذه المواد مصدرها عملية التجوية. فالتجوية تدفع بكميات كبيرة من المواد إلى المجرى بواسطة الاندفاع في صفائح وكذلك بفعل تبديد الكتل والمياه الباطنية.

٩ وتنقل الأنهار حمولتها بثلاث طرق: (1) كمحلول (حمولة مذابة) و (2) معلق (حمولة معلقة) و (3) على قاع القناة (حمولة القاع).

وسبق أن ذكرنا أن بعض حمولة المجرى المائى المذابة تتكون بالاذابة المباشرة لصخور قناته، إلا أن جلها تأتي به المياه الباطنية. وعند بداية تخلل الماء للسطح يذيب بعض مكونات التربة ثم يضيف إليها مواد معدنية أخرى بتغلغله داخل الشقوق وخلال الفراغات المسامية، حيث غالبا ما يأخذ طريقه بعد ذلك إلى مجارى المياه.

وبالرغم من أهمية سرعة الدفع لنقل الجزيئات الصلبة فإنها ليست ذات أهمية بالنسبة للحمولة المذابة حيث أن الماء يعمل على نقل هذه الكمية بغض النظر عن سرعة حركته. وتبدأ عملية الترسيب فقط عند تغير تركيب الماء الكيميائى.

وتتباين كمية المواد المنقولة كحمولة مذابة من مجرى إلى آخر بناء على معطيات تشمل المناخ وجيولوجية المنطقة.



شكل 9 - 13

نقل حمولة المجرى المائى.



ويعبر عن هذه الكمية بوحدة اجزاء المادة المذابة بليون وحدة من الماء (جزء في المليون). وقد تصل هذه الكمية ببعض الانهار الى 1000 جزء في المليون. الا ان معدل الكمية المذابة لأنهار العالم تتراوح بين 115 و 120 جزء في المليون. وتدفع مجارى مياه العالم الى المحيطات بحوالى 4 بليون طن متري من المواد كحمولة مذابة.

ومعظم المجارى المائية (ولكن ليس جميعها) تحمل جل حمولتها معلقة (شكل 9 - 13). وبالتأكيد فان تعكير مياه المجارى الناتج عن هذه الحمولة واضح لكل ذى عينين. وفي العادة تكون الحمولة المعلقة من الرمال الدقيقة والطين والغرين، غير انه في حالة الفيضانات قد تشمل محتويات اكبر حجما حيث تزيد نسبة الحمولة المعلقة بشكل ملحوظ. فنهر هوانج هو الصينى (النهر الاصفر) قد قدرت حمولته اثناء الفيضانات بما يساوى وزن المياه الحاملة له. وتوصف مثل هذه الانهار بأنها غليظة القوام عند الشراب ورقيقة القوام عند الزراعة.

ويتحكم في كمية مواد الحمل المعلق عاملان: سرعة حركة الماء وسرعة ترسب حبيبات هذا الحمل. وتعرف سرعة الترسيب بالسرعة التى تفوق بها الجزيئات فى سائل راكد. وكلما زاد الحجم كلما زادت سرعة الترسيب. وبالإضافة الى الحجم فان للشكل وللثقل النوعى للجزيئات تأثيرا على سرعة ترسبها. فالجزيئات المفلطحة ترسب بسرعة اقل من الجزيئات الكروية الشكل والأقل منها كثافة. وكلما بقيت

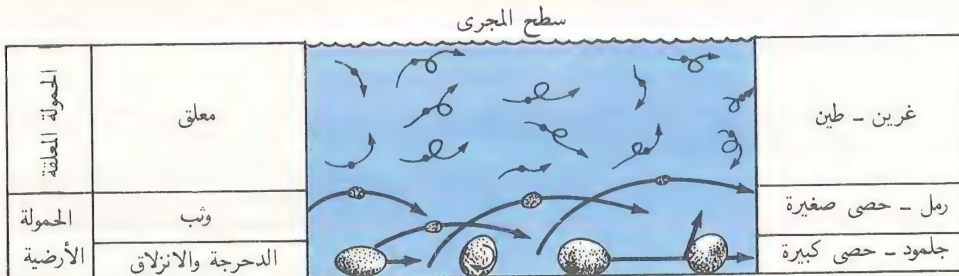
لمقدرتها على قطع قنواتها، ولكن ايضا لفاعليتها في نقل كميات مأهولة من الرسوبيات الناتجة عن عملية التجوية. وبالرغم من أن عملية تعرية قناة المجرى تساهم بقدر كبير في حمولة مجارى المياه، الا ان معظم هذه المواد مصدرها عملية التجوية. فالتجوية تدفع بكميات كبيرة من المواد الى المجرى بواسطة الاندفاع في صفائح وكذلك بفعل تبدد الكتل والمياه الباطنية.

١ وتنقل الانهار حمولتها بثلاث طرق: (1) كمحلول (حمولة مذابة) و (2) معلق (حمولة معلقة) و (3) على قاع القناة (حمولة القاع).

وسبق أن ذكرنا ان بعض حمولة المجرى المائى المذابة تتكون بالاذابة المباشرة لصخور قناته، الا ان جلها تأتي به المياه الباطنية. وعند بداية تخلل الماء للسطح يذيب بعض مكونات التربة ثم يضيف اليها مواد معدنية اخرى يتغلغلها داخل الشقوق وخلال الفراغات المسامية، حيث غالبا ما يأخذ طريقه بعد ذلك الى مجارى المياه.

وبالرغم من أهمية سرعة الدفع لنقل الجزيئات الصلبة فانها ليست ذات اهمية بالنسبة للحمولة المذابة حيث ان الماء يعمل على نقل هذه الكمية بغض النظر عن سرعة حركته. وتبدأ عملية الترسيب فقط عند تغير تركيب الماء الكيميائى.

وتتباين كمية المواد المنقولة كحمولة مذابة من مجرى الى آخر بناء على معطيات تشمل المناخ وجيولوجية المنطقة.



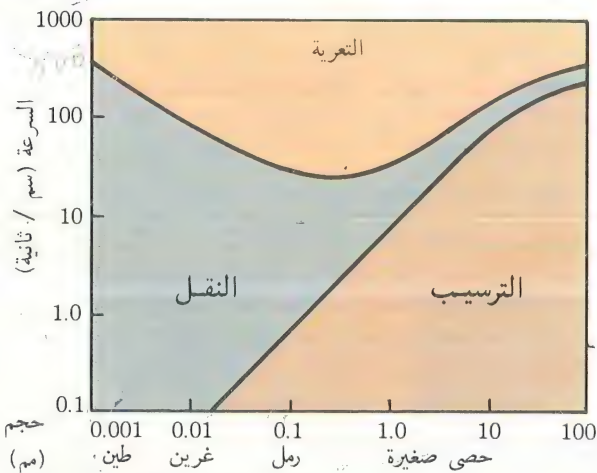
شكل 9 - 13

نقل حمولة المجرى المائى.



حجم من الفتات الصخرى يمكنه نقله. وتحدد سرعة المجرى كفاءته، حيث انه كلما زادت قوة الدفع كلما زادت كفاءة المجرى على نقل حمولته المعلقة. وعموما فان كفاءة المجرى المائى تزيد بحوالى مربع سرعته. وعليه اذا زادت سرعة المجرى الى الضعف فان كفاءته تزيد بمقدار اربعة اضعاف. واذا زادت السرعة بثلاثة اضعاف فان الكفاءة تزيد بمقدار تسعة اضعاف. وبناء عليه فان القطعة الصخرية الكبيرة عند قاع المجرى والتي قد يعتقد ان المجرى غير قادر على تحريكها يمكنه نقلها اثناء الفيضانات حيث تزداد سرعته.

ويوضح الشكل (9 - 14) تأثير سرعة المجرى المائى على التعرية والنقل والترسيب. ويبين المنحنى العلوى السرعة اللازمة لرفع احجام معينة. لاحظ ان السرعة اللازمة لرفع جزيئات بحجم الطين اكثر من تلك التى تلزم لتحريك حبيبات بحجم الرمل. ويرجع ذلك مبدئيا الى قوة التماسك التى تسبب فى التصاق جزيئات الطين على بعضها البعض. غير أنه اذا ما تم للماء تحريك هذه الجزيئات، فانها تبقى معلقة مدة طويلة حتى فى المياه البطيئة الحركة. وبالعكس من ذلك فان الجزيئات الاكبر حجما تبقى متحركة فى مدى سرعة أقل.



شكل 9 - 14

علاقة سرعة المجرى بالتعرية والنقل والترسيب لاجسام مختلفة.

سرعة تدفق المجرى المائى اكبر من سرعة الترسيب، فان الماء يعمل على نقل المحتويات العالقة.

ويتكون جزء من حمولة المجرى المائى من مواد صلبة ذات احجام لا يقدر على حملها معلقة. وتتحرك هذه المواد على القاع مكونة الحمولة الأرضية. وتعتبر الحمولة الأرضية ذات أهمية كبيرة بالنسبة لمقدرة المجرى المائى على تعرية قناته. وتتحرك حمولة القاع دحرجة أو ترحلها أو بالوثب (شكل 9 - 13). ويحدث الوثب بدفع الجزئيات الى اعلى نتيجة لتصادمها، أو بواسطة التيارات المائية، ومن ثم تحمل الى مسافة قصيرة لتشهدا الجاذبية مرة اخرى الى القاع. اما الأجزاء الكبيرة غير القادرة على الوثب فانها تتدحرج أو تنزلق على القاع وذلك بناء على شكلها.

وتختلف الحمولة الارضية على الحمولتين المعلقة والمذابة فى عدم حركتها الدائمة، حيث انها تقادرمكان تواجدتها فقط عند توفر قوة الدفع الكافية لذلك. وفى بعض المجارى المائية تمثل الحمولة الارضية 50 فى المائة من الحمولة الكلية، غير انها عادة لا تتعدى ما قيمته 10 فى المائة من الحمولة الكلية. فمثلا يقوم نهر المسيسيبي بنقل حوالى 750 مليون طن من المواد سنويا الى خليج المكسيك. وتقدر الحمولة المعلقة بحوالى 500 مليون طن، و 200 مليون طن كحمولة مذابة، بينما تمثل الخمسون مليون طن الباقية حمولة القاع. وجدير بالملاحظة انه يصعب قياس حمولة القاع بالمجارى المائية، وذلك لصعوبة الوصول اليها. بالاضافة الى انها اكثر حركة اثناء الفيضانات، حيث تزيد صعوبة قياسها. وعليه يجب النظر الى ارقام تقديرات كمياتها بحذر شديد.

وتوصف قدرة المجرى المائى على نقل الجزيئات عادة بناء على معيارين اثنين. اولهما الحمولة القصوى التى يستطيع نقلها من المواد الصلبة وتعرف بالاستيعاب واستيعاب المجرى المائى له علاقة مباشرة بكمية الدفع، حيث انه كلما زادت كمية الماء المندفعة بالمجرى المائى زاد استيعابه. والمعيار الثانى هو كفاءة المجرى المائى. وهى تقاس بأقصى



حيث تزيد السرعة عند حافة المنحنى الخارجية مما يزيد من معدل التعرية بها وعلى العكس تنقص السرعة على الضفة، المقابلة مما يسمح بترسيب جزء من حمولة المجرى. وحيث ان هذا النوع من الرسوبيات يقع عند ما يشبه اللسان الداخلى للثنية فانها تسمى رسوبيات اللسان. وقد يكون من الأنسب وصفها بالتراكمات الهلالية من الرمال والحصى الصغيرة.

وقد يقوم المجرى المائى بترسيب المواد على قاع قناته، مما يسبب في اختناقها وبالتالي تفرعه الى عدة مسارات، مما ينتج عنه شبكة معقدة من القنوات المتفرعة والمتلاحمة بين العقبات. وحيث أن لمثل هذا المجرى مظهر الجدائل فانه يسمى المجرى المجدول (شكل 9 - 15). وتحدث مثل هذه الظاهرة عندما تزيد الحمولة على قدرة المجرى. فمثلا عند التحام رافد شديد الانحدار ومياهه عكرة بمجرى رئيسى، فقد يقوم بترسيب حمولته الصخرية الأرضية عند نقطة الالتحام. وقد تقوم الأمطار الغزيرة بالدفع بكميات كبيرة من المواد بمنطقة تفتقر الى غطاء نباتى داخل المجرى، او عند نهاية مجلد، حيث تقوم مجارى المياه الناتجة عن الذوبان بدفع رسوبيات الجليد الى المجرى الرئيسى. ويتكون كذلك المجرى المجدول عند التناقص المفاجئ في المال، أو عند نقص كمية الدفع التى قد تكون نتيجة لتناقص كمية الامطار او لخروج المجرى من منطقة ممطرة الى اخرى جافة. ويترتب عن الحالة الأخيرة فقدان كمية من الماء عن طريق البحر وتسرب كمية اخرى خلال القناة مما يؤثر في كمية الدفع.

### رسوبيات سهل الفيضان

وكما تدل التسمية فان السهل الفيضانى هو جزء الوادى الذى غمرته المياه اثناء الفيضانات. وعموما فان معظم المجارى المائية لها سهول فيضانية يصل عرض بعضها الى عدة كيلومترات، فيما لا يتعدى البعض الآخر البضع امتار. واذا ما تفحصنا الركام الذى يغطى السهول

والآن قد تم نسييا توضيح السبب في زيادة معدل التعرية ونقل الرسوبيات اثناء الفيضانات. فلا يقتصر تأثير الزيادة في الدفع على زيادة مقدرة المجرى المائى. بل تزيد ايضا في سرعة حركته. وبزيادة سرعة الحركة يزيد تعكر الماء، وبالتالي حجم الجزيئات المتحركة. وقد يستطيع المجرى المائى تعرية ونقل كمية من الرسوبيات خلال بضعة أيام أو حتى ساعات من فيضانه تساوى ما يستطيع نفس المجرى تعريته ونقله خلال شهور من حركته العادية.

### تراكم الرسوبيات بفعل المجارى المائية

تتناقص كفاءة المجرى المائى بتناقص سرعته ويوضح المنحنى السفلى بالشكل (9 - 14)، أن تناقص السرعة ينتج عن ترسب الجزيئات بناء على حجمها. وبانخفاض تدفق الماء عن سرعة ترسب حجم معين من الجزيئات يسبب في بدء عملية ترسيبها. وبالتالي فان المجرى المائى يقوم بفصل الاحجام المختلفة عن بعضها. وتعرف هذه الظاهرة بعملية الفرز وهى تفسر ترسب الجزيئات المتقاربة في الحجم مع بعضها.

وتسمى الرسوبيات ذات الفرز الجيد التى عادة ما تترسب بواسطة المجارى المائية بالركام. ويكون الركام الكثير من المظاهر الرسوبية، حيث يوجد بعضها داخل قناة المجرى أو بمحاذاتها أو عند المصب.

### رسوبيات القناة

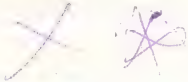
اثناء نقل النهر لحومله الى البحر قد يقوم بترسيب جزء منها داخل قناته. وعادة ما تتكون هذه الرسوبيات من الرمل والحصى الصغيرة، اى الأجزاء الكبيرة الحجم نسبيا من حمولته. وتسمى هذه الرسوبيات بالعقبات. وهى ظواهر رسوبية مؤقتة كثيرا ما تنقل محتوياتها فيما بعد أسفل النهر حيث تنتهى في معظم الاحيان بالمحيطات.

ويمكن ان تتكون عقبات الرمل والحصى الصغيرة تحت ظروف عديدة. فمثلا تكثر العقبات عند ثنيات المجرى،



حيث تزيد السرعة عند حافة المنحنى الخارجية مما يزيد من معدل التعرية بها وعلى العكس تنقص السرعة على الضفة، المقابلة مما يسمح بترسيب جزء من حمولة المجرى. وحيث ان هذا النوع من الرسوبيات يقع عند ما يشبه اللسان الداخلى للثنية فانها تسمى رسوبيات اللسان. وقد يكون من الأنسب وصفها بالتراكبات الهلالية من الرمال والحصى الصغيرة.

وقد يقوم المجرى المائى بترسيب المواد على قاع قناته، مما يسبب فى اختناقها وبالتالي تفرعه الى عدة مسارات، مما ينتج عنه شبكة معقدة من القنوات المتفرعة والمتلاحمة بين العقبات. وحيث أن لمثل هذا المجرى مظهر الجداول فانه يسمى المجرى الجدول (شكل 9 - 15). وتحدث مثل هذه الظاهرة عندما تزيد الحمولة على قدرة المجرى. فمثلا عند التحام رافد شديد الانحدار ومياهه عكرة يجرى رئيسى، فقد يقوم بترسيب حمولته الصخرية الأرضية عند نقطة الالتحام. وقد تقوم الأمطار الغزيرة بالدفع بكميات كبيرة من المواد بمنطقة تفتقر الى غطاء نباتى داخل المجرى، او عند نهاية مجلد، حيث تقوم بمجارى المياه الناتجة عن الذوبان بدفع رسوبيات الجليد الى المجرى الرئيسى. ويتكون كذلك المجرى الجدول عند التناقص المفاجئ فى الممال، أو عند نقص كمية الدفع التى قد تكون نتيجة لتناقص كمية الامطار أو لخروج المجرى من منطقة ممطرة الى اخرى جافة. ويترتب عن الحالة الأخيرة فقدان كمية من الماء عن طريق البخر وتسرب كمية اخرى خلال القناة مما يؤثر فى كمية الدفع.



رسوبيات سهل الفيضان

وكما تدل التسمية فان السهل الفيضانى هو جزء الوادى الذى غمرته المياه اثناء الفيضانات. وعموما فان معظم المجارى المائية لها سهول فيضانية يصل عرض بعضها الى عدة كيلومترات، فيما لا يتعدى البعض الآخر البضع امتار. واذا ما تفحصنا الركام الذى يغطى السهول

والآن قد تم نسبيا توضيح السبب فى زيادة معدل التعرية ونقل الرسوبيات اثناء الفيضانات. فلا يقتصر تأثير الزيادة فى الدفع على زيادة مقدرة المجرى المائى. بل تزيد ايضا فى سرعة حركته. ويزيادة سرعة الحركة يزيد تعكر الماء، وبالتالي حجم الجزيئات المتحركة. وقد يستطيع المجرى المائى تعرية ونقل كمية من الرسوبيات خلال بضعة أيام أو حتى ساعات من فيضانه تساوى ما يستطيع نفس المجرى تعريته ونقله خلال شهور من حركته العادية.

### تراكم الرسوبيات بفعل المجرى المائية

تتناقص كفاءة المجرى المائى بتناقص سرعته ويوضح المنحنى السفلى بالشكل (9 - 14)، أن تناقص السرعة ينتج عن ترسب الجزيئات بناء على حجمها. وبانخفاض تدفق الماء عن سرعة ترسب حجم معين من الجزيئات يسبب فى بدء عملية ترسبها. وبالتالي فان المجرى المائى يقوم بفصل الاحجام المختلفة عن بعضها. وتعرف هذه الظاهرة بعملية الفرز وهى تفسر ترسب الجزيئات المتقاربة فى الحجم مع بعضها.

وتسمى الرسوبيات ذات الفرز الجيد التى عادة ما تترسب بواسطة المجارى المائية بالركام. ويكون الركام الكثير من المظاهر الرسوبية، حيث يوجد بعضها داخل قناة المجرى أو بمحاذاتها أو عند المصب.

### رسوبيات القناة

اثناء نقل النهر لحواملته الى البحر قد يقوم بترسيب جزء منها داخل قناته. وعادة ما تتكون هذه الرسوبيات من الرمل والحصى الصغيرة، اى الأجزاء الكبيرة الحجم نسبيا من حمولته. وتسمى هذه الرسوبيات بالعقبات. وهى ظواهر رسوبية مؤقتة كثيرا ما تنقل محتوياتها فيما بعد أسفل النهر حيث تنتهى فى معظم الاحيان بالمحيطات.

ويمكن ان تتكون عقبات الرمل والحصى الصغيرة تحت ظروف عديدة. فمثلا تكثر العقبات عند ثنيات المجرى،





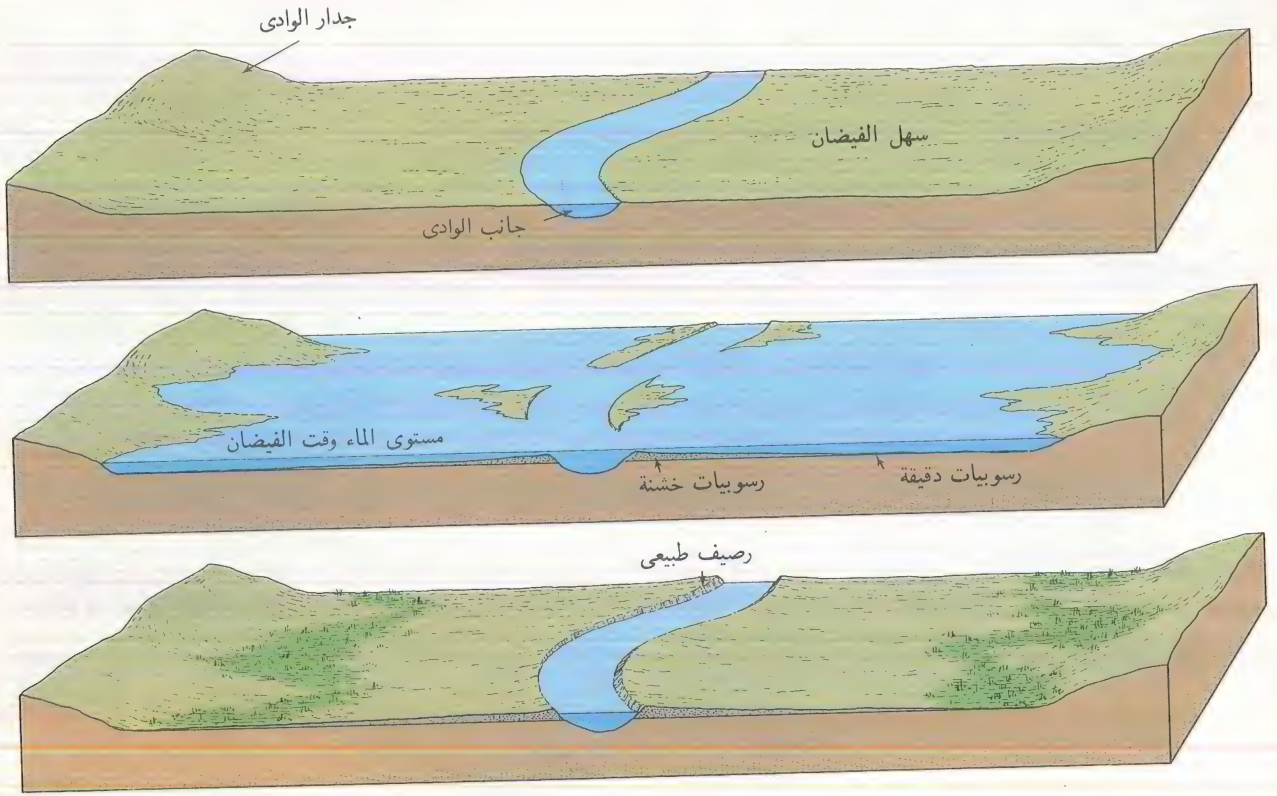
شكل 9 - 15

مجرى مجداول يختنق بالرسوبيات قرب حافة مجلد في طور الذوبان.

وعند فيضان الماء فوق حواف مجراه، يتحرك الماء على السطح في صفيحة عريضة مما ينقص من سرعته واضطرابه. ويتم هنا ترسب الاحجام الكبيرة على حواف القناة، اما باقى الرسوبيات القليلة في كميتها والدقيقة في حجم مكوناتها فيتم تراكمها فوق سطح الوادى. وينتج عن هذا التوزيع، غير المتساوى للرسوبيات، تكوين ممال طفيف للارصفة الطبيعية (شكل 9 - 16). وعلى سبيل المثال ترتفع ارصفة نهر الميسيسى الطبيعية بمقدار 6 امتار على مستوى الحوض. ولانحدار الارصفة الطبيعية الى الخارج، فان الماء

الفيضانية، لوجدنا ان بعضه يتكون من الرمال الخشنة والحصى الصغيرة، التى ترسبت اصلا كرسوبيات السنة بواسطة مجارى مائية متعرجة مغيرة في مساراتها جانبيا. ويتكون البعض الآخر من اغطية السهول الفيضانية من الرمال الدقيقة والغرين والطمي التى تنتشر فوق هذه السهول كلما غادرت المياه قناة المجرى اثناء الفيضانات. وتبنى الانهار ذات الاحواض العريضة والمنبسطة ما يعرف بالأرصفة الطبيعية على موازاة القناة. ويتم بناء الأرصفة الطبيعية بتوالى الفيضانات على مدى عدة سنين.





شكل 9 - 16

تكون الارصفة الطبيعية. بعد اعادة الفيض قد يقوم المجرى ببناء ارسفة ذات ميل طفيف.

الارصفة الاصلية. وبهذا يلزم رفع مستوى الارصفة ثانية لتفادى الفيضانات. ومثال ذلك ارسفة نهر الميسيسيبي التي تم رفعها مرات عدة. ولهذا فان بناء الارصفة الصناعية لا يعتبر حلا نهائيا لمشكلة الفيضانات. ولضمان فاعليتها يلزم زيادة ارتفاعها من آن لآخر، وهي عملية لا يمكن استمرارها الى ما لا نهاية.

الفائض لا يجد طريقه الى النهر ثانية بل يكون ما يسمى بالمستنقع الخلفي. وقد يضطر احد الروافد الى محاذاة الرصيف الطبيعي في مسار مواز لمسار النهر قبل الالتحام به وهذا يسمى برافد اليازو وذلك كناية الى نهر اليازو الذي يجري بمحاذاة نهر الميسيسيبي لمسافة 300 كيلومتر.

وقد يتم بناء ارسفة صناعية محاولة للتحكم في الفيضانات. وهذه سهلة التمييز من الارصفة الطبيعية لشدة انحدارها. وعندما تجرز الارصفة المياه داخل المجرى فان المياه تقوم بترسيب حمولتها داخل القناة التي كانت ستترسب على سهل الفيضان عند تناقص كمية تدفقه. وبهذا يتم بناء القناة الى اعلى مما يلزم كمية اقل من الماء لتفويض فوق

الدلتا والمراوح الركامية الرملية والكثيرة

تمثل المراوح الركامية والدلتا اثنان من اهم المعالم المتكونة من الركام وهنا كثيرا ما يشابهان في الشكل، غير أن مكوناتها تترسب لنفس السبب، وهو فقدان المفاجيء





شكل 9 - 17

مروحة ركامية بوادي الموت بكاليفورنيا. تتكون هذه الظواهر عندما يتغير ممال المجرى فجأة.

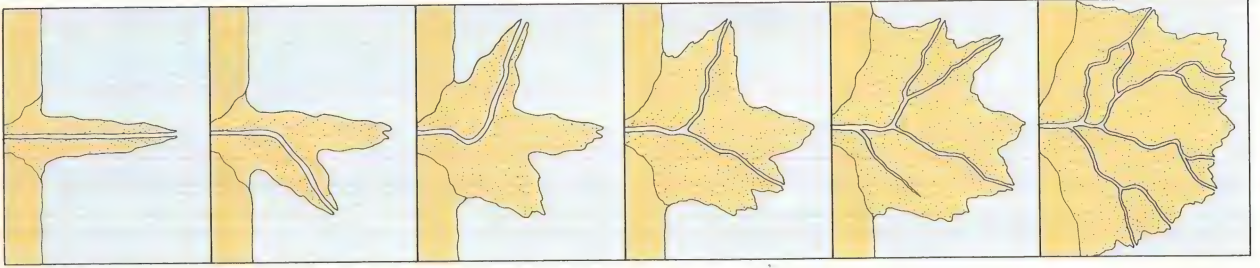
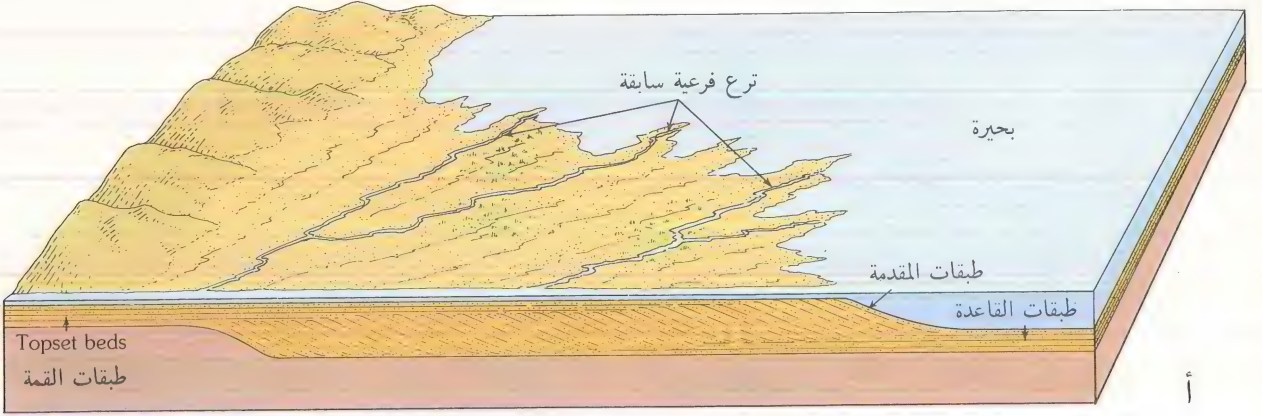
المفاجيء في سرعة المجرى الى تراكم الرسوبيات في شكل مخروطي مميز على هيئة مروحة. ويوضح الشكل (9 - 17) سطح المروحة المائل الى الخارج في قوس عريض وقمة عند نهاية المجرى الشديد الانحدار. وعادة ما تتراكم الرسوبيات الكبيرة الحجم عند قمة المروحة، بينما تتجمع الرسوبيات الاقل حجما عند القاعدة. وكما سبق وان ذكرنا فان المجارى الشديدة الانحدار مواقع نموذجية للدفق الطيني. وعليه فانا نتوقع وجود مثل هذه الرسوبيات متداخلة مع رسوبيات المراوح الركامية في المناطق الجافة.

أما الدلتا فتتكون عند دخول مجرى الماء مياه المحيط أو البحيرات الهادئة نسبيا. وهنا يضمحل معدل تقدم المجرى

لكفاءة المجرى. وبالرغم من تشابههما في هذا الشأن الا انهما ظاهرتان لكل منهما مميزات. فالمراوح الركامية تتجمع على اليابسة، بينما تترسب الدلتا في جسم مائي، بالاضافة الى ان الدلتا اكبر انبساطا ولا تكاد تبرز فوق سطح مستوى منسوب المحيطات أو البحيرات. وعلى العكس من ذلك فان المراوح الركامية تكون شديدة الانحدار.

وتتكون عادة المراوح الركامية: عند مغادرة مجرى مائي ضيق ذي ممال عال بمنطقة جبلية فجأة الى حوض او سهل عريض. وتتكون المراوح الركامية كرد فعل للتغير المفاجيء في الممال المتزامن مع التغير في حجم القناة الضيقة في المنطقة الجبلية الى مجرى مفتوح فوق منحدر سهل. ويسبب النقص





ب

شكل 9 - 18

(أ) - تركيب الدلتا في رسم تخطيطي مبسط (ب) - نموذج بسيط. كلما زاد المجرى في قناته يبحث عن أقصر الطرق الى مستوى قاعدته تحت تأثير ماله المتناقص.

طبيعة الشواطئ وتشكيلاتها على اعطائها اشكال مختلفة. وبالإضافة الى ذلك فان انهار العالم الكبيرة تكونت بنهاياتها دلتا لا يشبه أى منها الرسم التخطيطي المبسط بالشكل (9 - 18 ب).

وللأنهار الكبيرة مثال نهر النيل والمسيحي دلتا تغطي آلاف الكيلومترات المربعة. فقد بدأت مثلا دلتا نهر المسيحي بالتكوين منذ ملايين السنين بالقرب من مدينة القاهرة الأمريكية بولاية النوى. ومنذ ذلك الوقت امتدت الدلتا الى الجنوب مسافة تقارب 1600 كيلومتر. وقد كانت تغطي مياه المحيط قبل اقل من 5000 سنة موقع مدينة نيواورلينز الحالى. ويوضح الشكل (9 - 19) دلتا على شكل قدم طائر تم بناءها خلال الخمسمائة سنة المنصرمة، وكذلك بعض القنوات المتشعبة التى تتخللها وهى تعرف بالموزعات

المائى وترسب حملته بحيث تتراكم الاحجام الغرينية والطينية بعيدا عن المصب في طبقات افقية تقريبا، تسمى طبقات القاعدة (شكل 9 - 18 أ). وقبل تراكم طبقات القاعدة تبدأ طبقات المقدمة في التكوّن. وهى تتكون من رسوبيات خشنة سرعان ما ترسب حال اندفاعها داخل الجسم المائى في طبقات مائلة. وعادة ما يغطى رسوبيات طبقات المقدمة طبقات افقية رقيقة وناعمة تسمى طبقات القمة تتراكم اثناء الفيضانات. وبنمو الدلتا يتناقص ممال المجرى المائى مما يدفعه الى البحث عن طريق اقصر الى مستوى القاعدة وذلك كما هو موضح بالشكل (9 - 18 ب). وهو يبين كيف تتطور الدلتا البسيطة الى الشكل المثلث للحرف الاغريقى دلتا (Δ) التى تحمل اسمها. ويلاحظ ان الكثير من الدلتا لا تأخذ هذا الشكل، حيث تعمل



يلتقط كثيرا من الرسوبيات بين مصدريه ببحيرة اونتاريو ومصبه بخليج سانت لورنس.

## أحواض المجارى المائية

تعتبر أحواض المجارى المائية من أهم مميزات سطح الكرة الأرضية. ولكنها فائتة لا نعرف عددها الا فى بعض المناطق المحدودة التى شملتتها الدراسة والبحث. فقبل نهاية القرن التاسع عشر، كان يعتقد بأن مجارى المياه تتكون لتمرّق القشرة الأرضية تاركة فراغات تجرى بها المياه. واليوم نعلم أن معظم مجارى المياه مسئولة عن حفر أحواضها.

وأول إشارة الى علاقة مجارى المياه بحفر أحواضها، جاءت من الجيولوجى الانجليزى جون بليفيير سنة 1802 تحت عنوان توضيحات للنظرية الهيئونية حول الأرض، حين كتب ما عرف بعد ذلك بقانون بليفيير:

يظهر أن كل نهر يتكون من جذع رئيسى تغذيه عدة فروع. وكل منها يجرى فى حوض يتناسب وحجمه، وهى تكون فى مجموعها شبكة أحواض متصلة ببعضها فى عملية منتظمة، بحيث لا يتصل أى منها بالحوض الرئيسى عند نقطة شديدة الارتفاع أو الانخفاض عنه. ولا يتأتى ذلك الا اذا كانت الاحواض تتاج المياه التى تجرى بها.

ولم تقتصر ملاحظات بليفيير على كونها صحيحة، بل انها صيغت بطريقة علمية جيدة. وتقسم احواض مجارى المياه الى نوعين ضيق على شكل حرف V اللاتينى وآخر عريض بقاع منبسط مع عدة اشكال انتقالية بينها.

ففى المناطق الجافة حيث يكون القطع العمودى سريعا والتجوية بطيئة، أو فى المناطق ذات الغطاء الصخرى الصلب، تتكون وديان ضيقة ولكنها قد لا تكون على شكل V، بل تكون جوانبها عمودية تقريبا. ولعظم الوديان حافتين اكثر عرضا من قاع القناة. ولا يحدث ذلك اذا اقتصر فعل التعرية بجانبى الوادى على مياهه الجارية به.



شكل 9 - 19

دلتا نهر المسيسيبي التى على شكل رجل طائر. خريطة طبوغرافية مقياس رسم 1:250,000. امتدت الدلتا تجاه البحر خلال 400 سنة الماضية حوالى 32 كيلومترا. لاحظ الترعرع الفرعية التى على شكل قنوات فوق الدلتا.

الفرعية. وتتميز دلتا نهر المسيسيبي، مثل معظم باقى دلتات الانهار بتغير القنوات خلالها، ولهذا تأثير معاكس للروافد. فبدل من ان تدفع الماء الى المجرى الرئيسى فان الموزعات تأخذ الماء فى مسارات مختلفة الى البحر.

وبالرغم من ان لكثير من الانهار الكبيرة دلتات، الا ان بعضها يفتقر الى هذه الظاهرة الترسيبية. وقد تعمل التيارات المائية والامواج على سرعة توزيع الرسوبيات، وبالتالي منع تكون دلتا بنهاية بعض المجارى المائية التى قد تحمل كميات رسوبية كبيرة. ومثال ذلك نهر كولومبيا. وفى بعض الاحيان يعزى عدم تكون الدلتا الى عدم توفر حولة رسوبية كافية، مثل ما هو عليه الحال فى نهر سانت لورنس الذى لا

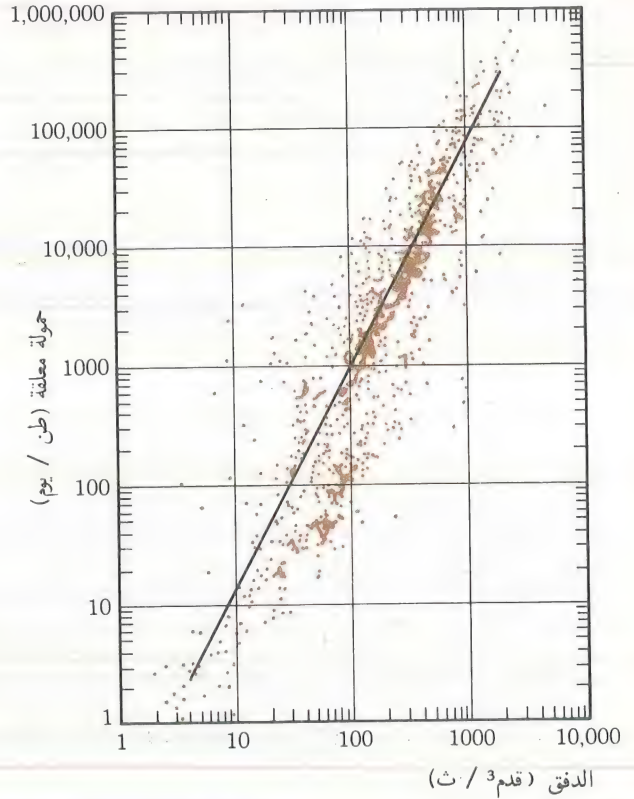


مستوى القاعدة. وأهم مظاهر مثل هذا المجرى ما يسمى بالمرعات والشلالات شكل 9 - 21.

ويتكوّن كلاهما عند انخفاض مقدار القطاع الجانبي فجأة وذلك لاختلاف مقاومة التعرية لمكونات المجرى الصخرية. وتعمل الطبقات الصلبة على تكوين احد هذه المرعات، لتعمل كمستوى قاعدة مؤقت، بينما يستمر النهر في التعرية تجاه المصب. وعند تعرية النهر لهذه الطبقة تتم تسوية المجرى الى قطاع اكثر تناسقا. أما الشلالات فهي مواقع انحدار الماء في وضع عمودي، مثل شلالات نياجارا (شكل 9 - 22 أ). وهنا تستند الشلالات على طبقة من الدولوميت الواقعة فوق طبقة من الصخر الطيني الاقل مقاومة من الطين (شكل 9 - 22 ب). ويعمل الماء المتساقط فوق الحافة على تعرية طبقة الصخر الطينية، مما يحدث خلاا في حافة طبقة الدولوميت وبالتالي كسرهما. وبهذا يحتفظ الشلال بجرفه العمودي بينما يتراجع عن موقعه ببطء وباستمرار. وقد قدر تراجع شلالات نياجارا منذ تكونها بحوالى 11 كيلومترا.

وعند قرب وصول النهر الى مستوى القاعدة يكاد ان يصبح نهرا ممهدا، وبالتالي تنقص قدرته على التعرية العمودية، وعليه فان طاقته تتجه الى التعرية جانبيا. والسبب في هذا التغير ليس مفهوما الى حد الآن. وينتج عن ذلك زيادة عرض النهر بالبدا في القطع من أحد الجانبين ثم يتجه الى الجانب الآخر (شكل 9 - 23). وبهذه الطريقة يتكون قاع المجرى المسطح او ما يسمى بسهل الفيضان. وترجع هذه التسمية الى كون النهر يجري في قناته فيما عدى وقت الفيضانات، حيث يفيض على ضفتيه ويغمر سهل الفيضان.

وعند تعرية النهر جانبيا كما سبق وان شرحنا مكونا سهل الفيض يسمى هذا بسهل الفيض التآكلي. وقد يكون سهل الفيض ترسيبي، وذلك بالتغير في ظروف النهر مثل مستوى القاعدة. ومثال ذلك سهل الفيض بنهر اليوسايت



شكل 9 - 20  
علاقة الحمولة المعلقة بكمية الدفق لنهر الباوردر.

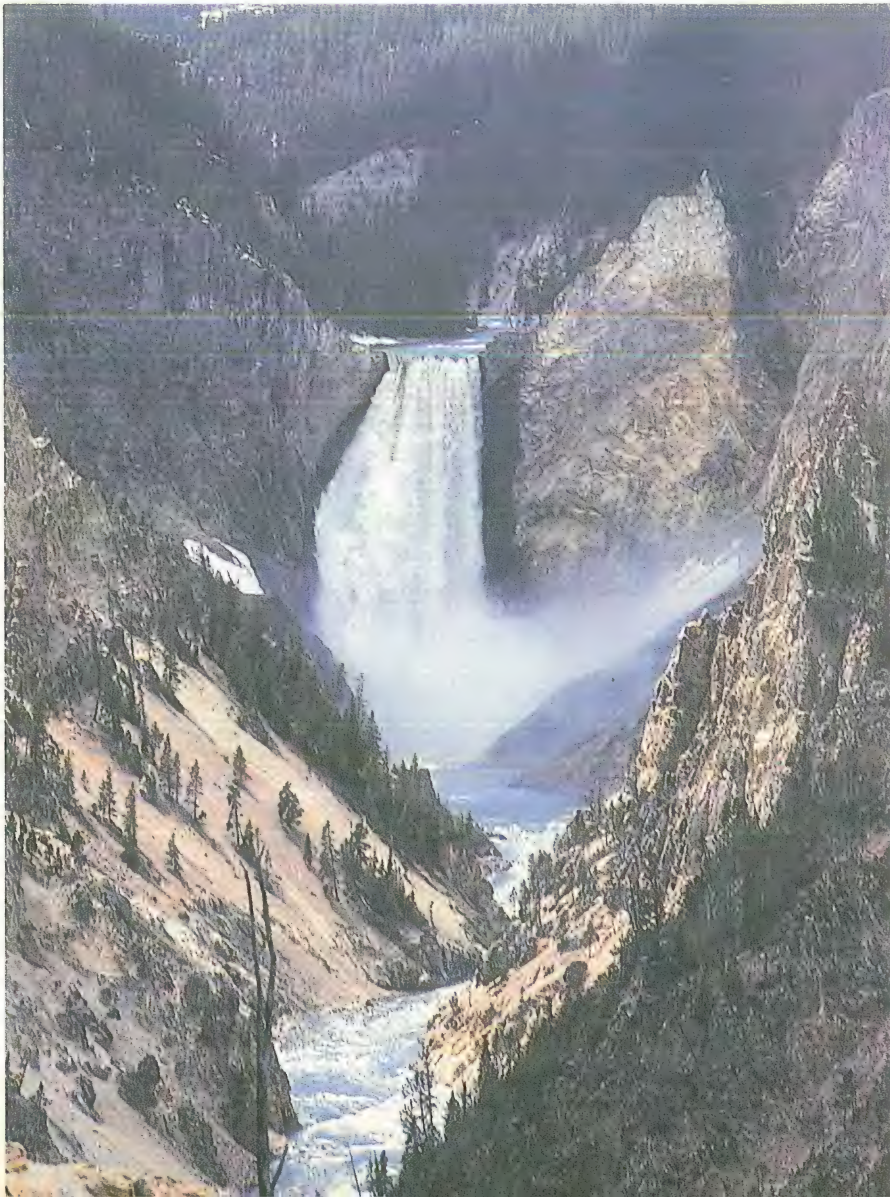
وتشارك التجوية والتدفق الصفحي وتبدد الكتل في تشكيل جانبي الحوض. ومثال ذلك الشكل 9 - 20، الذى يوضح العلاقة بين الحمولة المعلقة وكمية الدفق على نقطة قياس على نهر الباوردر بولاية وايومينج الامريكية. لاحظ أن كمية الحمولة المعلقة تزيد بزيادة الدفق. والزيادة هنا أسية أى أنه اذا ما زاد الدفق عند نقطة القياس عشرة اضعاف فان الحمولة المعلقة تزيد بعامل 100 أو أكثر. فقد بينت القياسات والحسابات ان تعرية القناة اثناء زيادة الدفق، تساهم بقدر محدود في الزيادة في حمولة المجرى. وعليه فان الكثير من مكونات الحمولة الاضافية يتم جلبها بواسطة التدفق الصفحي وتبدد الكتل. وبين الشكل 7 لقطاع الوادى ان عمل المجرى الرئيسى هو قطع مجراه عموديا الى



الميل، وبالتالي ينهال إلى داخل القناة. وكثيرا ما يشار إلى هذا الجانب بصفة القطع (شكل 9 - 24). وكثيرا ما ينقل مواد ضفة القطع المجرى لتتجمع كرسوبيات السنة عند نطاق انخفاض السرعة على الجانب الداخلى. وبناء عليه فان التعرجات تغير مواقعها جانبيا مع المحافظة على نفس مساحة قطاعها العرضى عن طريق تعرية الجانب الخارجى للثنية والترسيب عند جانبها الداخلى (شكل 9 - 25). وتقف هذه العملية عند حد معين بناء على حجم المجرى المائى. فكلما كان المجرى كبيرا كلما زاد مقدار تعرجاته.

حيث تم تعميق مجراه 300 مترا على مستواه الأسمى. وبعد ذوبان الجليد اعاد النهر مستوى قاعدته الى ما كانت عليه بلء مجراه بالركام.

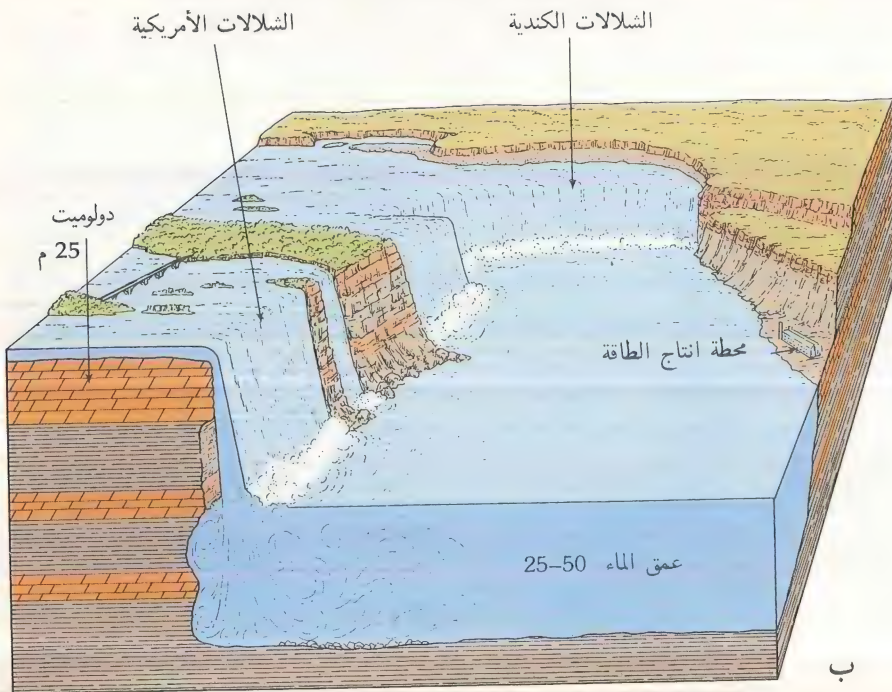
ويسير النهر المخترق لسهول الفيضانات سواء كانت تآكلية أو ترسيبية فى انحناءات تسمى بالتعرجات. وعند بداية تكون انحناء فى مجرى الوادى فانه يكبر فى الحجم، وذلك بتعرية الجانب الخارجى، حيث تبلغ السرعة والاضطراب اقصى مداها. وعادة ما يعمل الماء على حفراق الجانب الخارجى خاصة وقت الفيضانات مما يجعله شديد



شكل 9 - 21

وادى على شكل حرف V اللاتينى  
بنهر اليلوستون. تدل المنحدرات  
والشلالات على أن النهر نشط فى  
عملية قطع قناته رأسيا.



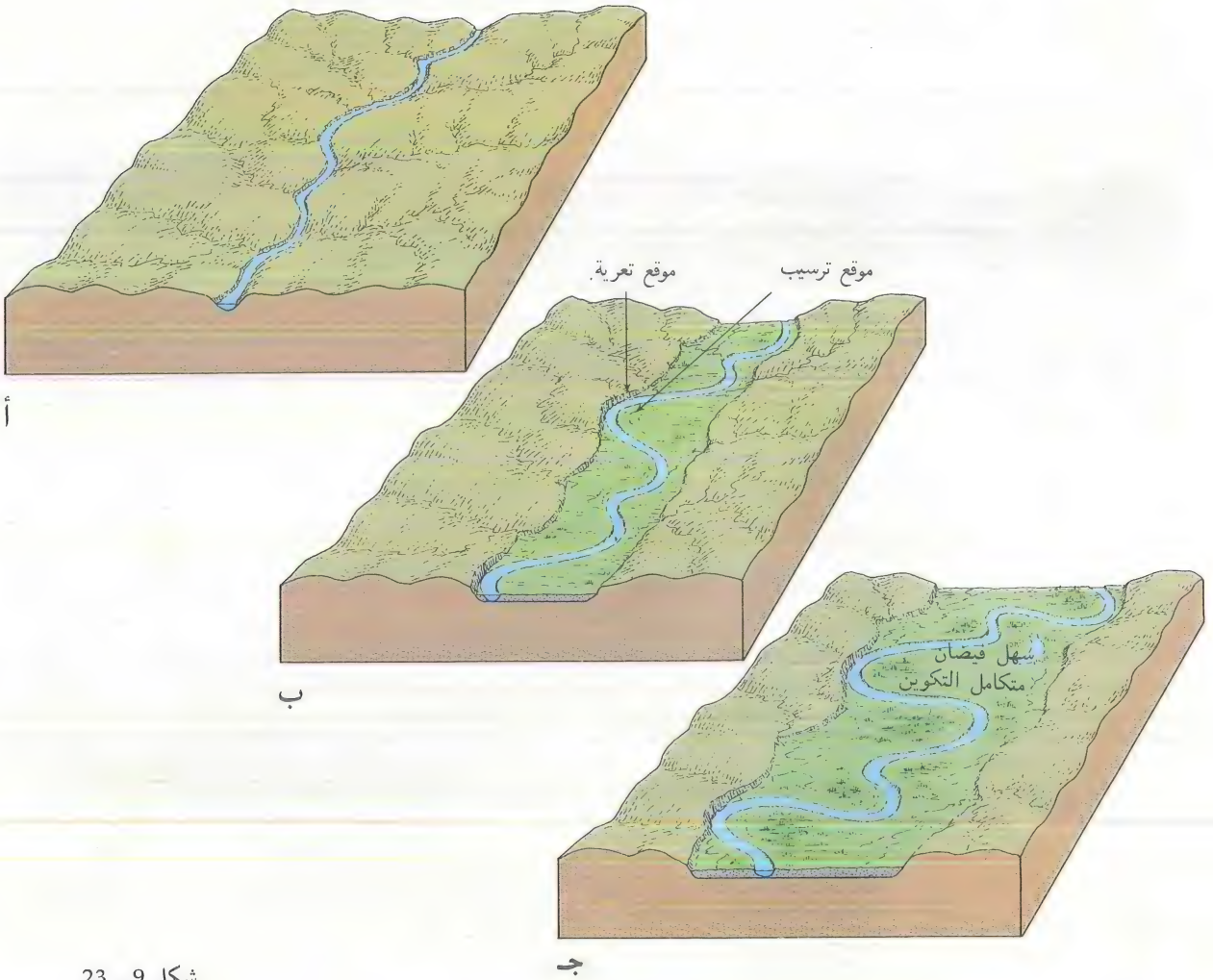


شكل 9 - 22

(أ) - شلالات نياجرا . (ب) -  
يتساقط ماء النهر ويقوم بتعرية الطينة  
الطينية من تحت صخور الدولوميت  
وبذلك تنكسر طبقات الدولوميت  
التي تبقى بدون سند.

ب





شكل 9 - 23

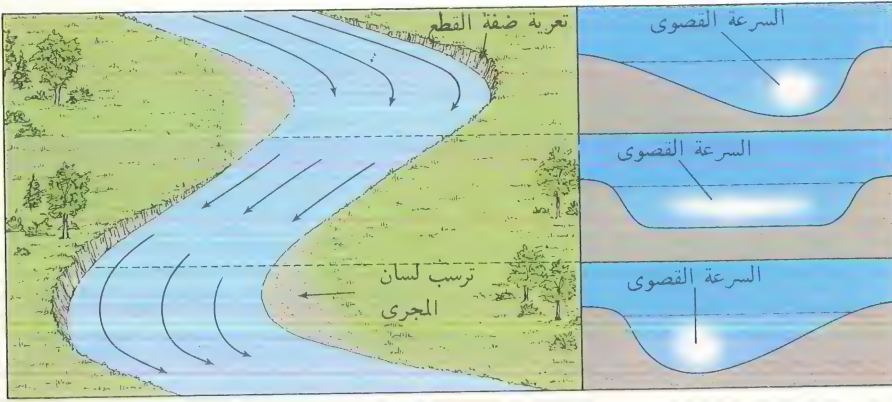
نهر يعرى سهل فيضانه.



شكل 9 - 24

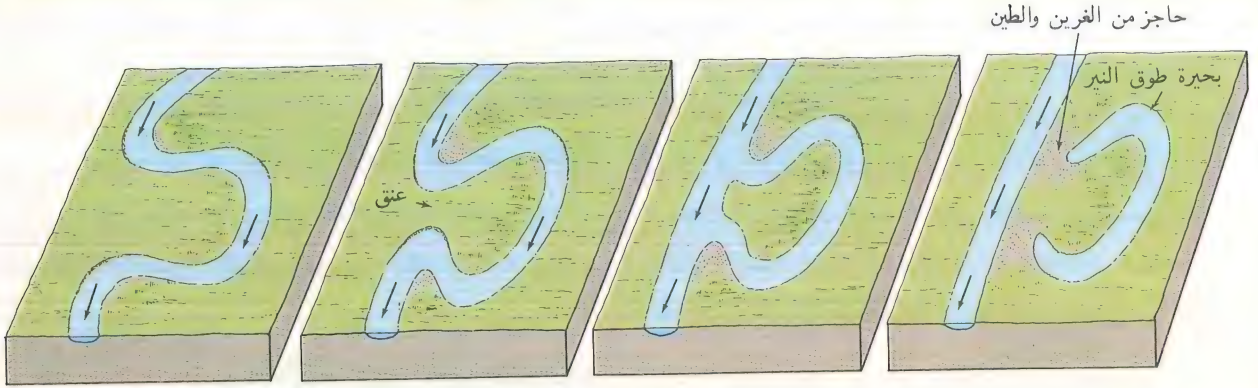
تعرية ضفة القطع بنهر نيووكم. (أ) - أى النار (يناير) 1965 . (ب) - المريخ (مارس) 1965.





شكل 9 - 25

الحركة الجانبية للمجرى المائى. يستطيع المجرى تغيير موقع مساره جانبيا بواسطة التعرية من الضفة الخارجية والترسيب عند الضفة الداخلية للتعرجات.



شكل 9 - 26

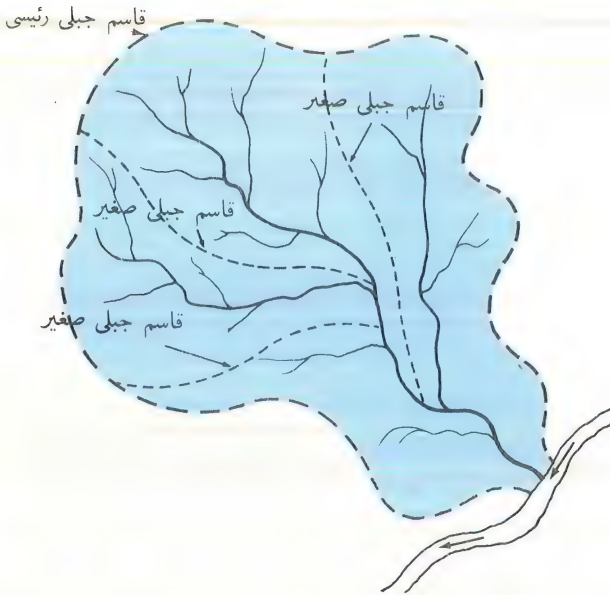
(أ) - تكون قناة القطع وبحيرة طوق النهر. (ب) - منظر جوى لنهرى المتعرج بأليورتا والذى من مميزاته بحيرات طوق النهر وندبات التعرج.

ب



الزيادة في الدفع بسرعة أكبر. وقد تم تنفيذ 16 قناة قطع على نهر الميسيسيبي منذ سنة 1932 وذلك لزيادة كفاءة قناته وتفادى تهديد فيضانه. وقد نجحت هذه الطريقة في تخفيض مستوى الماء بالنهر اثناء الفيضانات. وحيث أن قابلية النهر للتعرج ما زالت قائمة فان هناك صعوبة في منع رجوعه الى سابق وضعه المتعرج.

وقنوات القطع الصناعية تزيد من سرعة النهر وقد تزيد ايضا من معدل تعرية قناته عند القاعدة والجانبين. ومن آثار ذلك ما حدث على نهر البلاك دوتر بولاية ميسورى حيث قصرت قناته سنة 1910. ومن ضمن ما حدث نتيجة لذلك، هو الزيادة الكبيرة في عرض قناته وذلك لزيادة سرعة تدفقه وبالتالي تهدم احد الجسور المنشأة عليه سنة 1930. وقد تم استبدال هذا الجسر ثلاث مرات خلال السبعة عشر سنة التالية، حيث عمل على زيادة طوله في كل مرة.



شكل 9 - 27

حوض تصريف وقواسم جبلية. تفصل القواسم بين أحواض التصريف لكل مجرى مائى. كما توجد قواسم بين الراقد الصغير ولكنها غير موضحة.

وبسبب انحدار القناة فان التعرية تكون اكثر تأثيرا عند ناحية التعرج السفلى منها عند الناحية المقابلة. وعليه فبالإضافة الى الحركة الجانبية فان هذه الشيات تتحرك بموقعها الى الأمام. وفي بعض الاحيان قد يتسبب وصول التعرج الى جزء صلب من سهل الفيضان مما يسبب في ابطاء تقدمه وبالتالي قد يلحق به التعرج التالى، وبالتدرج يضيق الفاصل بينهما الى ان ينقطع (شكل 9 - 26). وتسمى القناة الجديدة والقصيرة هنا بقناة القطع وكذا لشكلها تسمى الاجزاء المهمة ببحيرات طوق النير. وبعد مدة من الزمن يتم ردم هذه البحيرة بالرسوبيات ليتكون ما يعرف بـ بندب التعرج. وقد عبر مارك توين حين كتب حول عملية تقصير النهر لمساره فى اسلوب ظريف تحت عنوان الحياة فوق نهر الميسيسيبي ما يلى:

خلال مائة وستة وسبعين سنة قام نهر الميسيسيبي السفلى بتقصير مساره مائتى واثنين واربعين ميلا اى بمعدل ميلٍ وثلث سنويا. وعليه فان من المنطقى ادراك ان طول نهر الميسيسيبي كان مليون وثلاثمائة الف ميل وذلك قبل مليون سنة مضت. وعلى هذا المنوال سيكون طول هذا النهر بعد سبعمائة سنة حوالى ميلا وثلث الميل. وبهذا ستلتحم شوارع مدينتى القاهرة ونيو اورلينز على مجراه. وعليه فان سحر العلم يكمن فى استئثار الحقائق البسيطة لاستنباط وقائع المستقبل.

وبالرغم من ان المعلومات التى استعملها مارك توين هى غاية فى الدقة، فهو قد نسى أن نهر الميسيسيبي قد استحدث تعرجات عديدة مضيئا الى طوله. ومع الأخذ فى الاعتبار بناء الدلتا نجد أنه فى الحقيقة يزداد طولاً وليس العكس.

ومن الطرق المستعملة للتحكم فى الفيضانات قطع قناة المجرى لتقويمها، والفكرة هنا فى تقصير المجرى ليزداد المال وبالتالي تزداد السرعة. وبزيادة السرعة يمكن التخلص من



## شبكات نظم الصرف

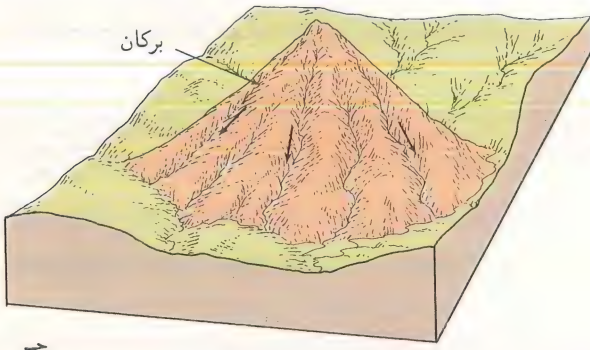
المائية التي تشكل في مجموعها نظاماً معيناً للصرف. وتختلف نظم الصرف من مكان الى آخر حسب مكونات الصخور والطين التي تخترقها او النمط التركيبي للصدوع والطيات. وبالطبع فان اكثر نظم الصرف انتشاراً هو المتشجر (شكل 9 - 28 أ). ويتميز هذا النظام بروافد متفرعة وغير منتظمة من مجارى المياه التي تشبه فروع الأشجار النفطية. ويميز النظام المتشجر المناطق المتجانسة في تكوين صخورها، مثال الطبقات الافقية أو كتلة من الصخور النارية. وحيث أن مقاومة الصخور للتعرية متجانسة فانها لن تتحكم في نظام الصرف بل يكون التأثير أساساً ناتجاً عن اتجاه ميل سطح الأرض.

ويوضح الشكل (9 - 28 ب) نظام الصرف المتعامد ويمكن هنا ملاحظة العديد من الزوايا القائمة بداخله.

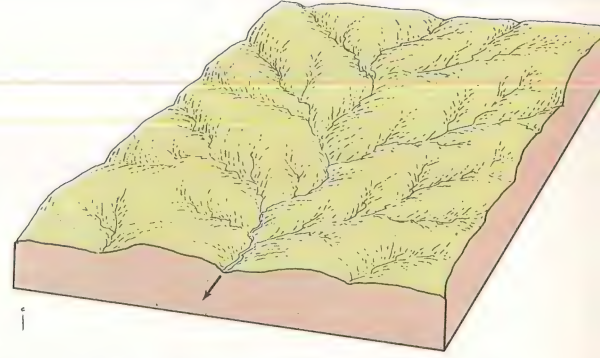
يعتبر مجرى المياه الواحد جزء صغير من نظام صرف اكبر منه بكثير. فكل نظام صرف يتكون من حوض الصرف، وهو يشمل المساحة التي تساهم في جمع الماء للمجرى. ويفصل بين كل حوض صرف وآخر خط وهمي يسمى القاسم الجبلي (شكل 9 - 27). ويتراوح حجم هذا القاسم من مرتفع يفصل جدولين، الى القاسم الجبلي القارى، الذى يقسم القارات الى عدة احواض هائلة. وقد يفصل القاسم الجبلي نظامي صرف لرافدى نهر واحد عندها يكون هذان النظامان جزءاً من نظام واحد اكبر حجماً.

### نظام الصرف

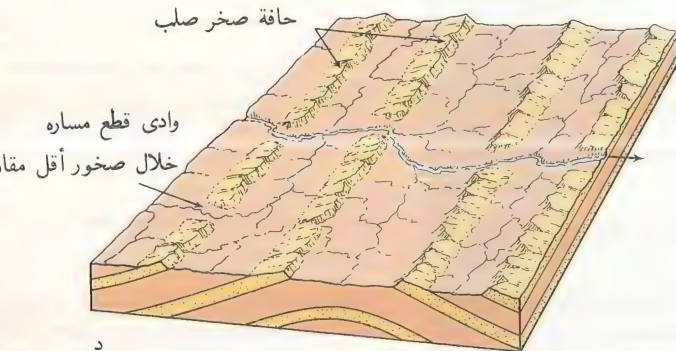
تتكون نظم الصرف من شبكة متصلة من المجارى



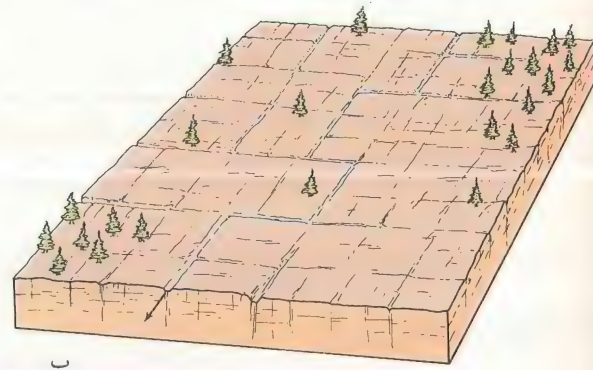
ج



ب



د



ب

شكل 9 - 28

نظم الصرف. (أ) - متشجر (ب) - متعامد (ج) - شعاعى (د) - شعري.



الجانبين الشديدي الانحدار بالثغرة المائية (شكل 9 - 29). فلماذا اذن يختار هذا المجرى طريقه خلال المرتفع بدلا من الالتفاف حوله؟ واحد الاحتمالات هنا ان يكون متواجداً من قبل تكون المرتفع او الجبل، ويسمى في هذه الحالة مجرى مائى سابق. وهو الذى يستمر في قطع مجراه اثناء تكون المرتفع. اما الاحتمال الثانى هو ان المجرى المائى تركب فوق هذا المرتفع الذى تم دفنه تحت صخور أفقية. ومن ثم أخذ مسارا غير ذى علاقة بالتركييب المدفونة. ويتعمق المجرى لمساره يقابل التركيب المدفون ويستمر في القطع خلاله. ومثال ذلك مجموعة الانهار المركبة التى تجرى خلال صخور جبال الالبالاش المطوية وذلك في طريقها الى المحيط الاطلسى.

#### التعرية عند المصدر وقرصنة المجرى المائية

سبق وان رأينا ان المجرى المائى يقوم باطالة قناته عن طريق بناء دلتا عند مصبه. وهو ايضا يستطيع اطالتها بالتعرية عند منشئه. فمع بداية تجمع الماء في قنوات تزداد سرعته ومن ثم قدرته على التعرية. وينجم عن ذلك تعرية القناة في اتجاه اعلى المنحدر خلال منطقة كانت تفتقر الى قنوات تصريف (شكل 9 - 30).

ويتكون هذا النظام من الصرف في منطقة مقطعة بالصدوع والفواصل. وحيث أن هذه التراكييب يمكن تعريتها بسهولة أكثر من الصخور غير المتأثرة بالصدوع والفواصل فان شكلها تتحكم في اتجاهات المجرى المائية.

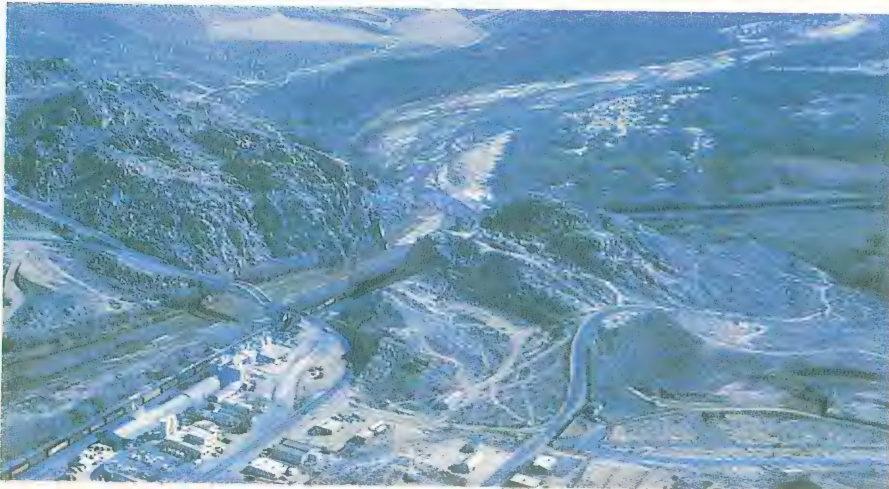
وعند انطلاق المجرى المائية من منطقة مركزية، فيما يشبه القبّ ببرق العجلة، يوصف نظام الصرف بالشعاعي (شكل 9 - 28 ج). ويتكون مثل هذا النظام بمناطق مخروطات البراكين المنعزلة وتراكييب القباب المرتفعة.

ويوضح الشكل (9 - 28 د) نظام الصرف التعريشى.

وهو نظام صرف متعامد تكون فيه الروافد متوازية تقريبا مع بعضها البعض فيما يشبه تعريشة الحدائق. ويتكون مثل هذا النظام للصرف في مناطق تتكون من طبقات صلبة بينها طبقات ذات مقاومة اقل. ومثال ذلك التكتشفات الطبعية بجبال الألبالاش التى تبرز كلا من الصخور الصلبة والضعيفة المقاومة في أحزمة متوازية تقريبا.

#### المجرى السابقة والمركبة للمياه

قد يتحتم في بعض المناطق دراسة تاريخ المجرى المائية وذلك لتفهم نظم صرفها. فقد يلاحظ مثلا أن احدها يقطع طريقه خلال مرتفع أو جبل. ويسمى مسارها هنا ذو



شكل 9 - 29

فجوة مائية بالقرب من فيكتور فيل بكاليفورنيا. يتوقع أن الرسوبيات كانت تغطي المرتفع. وعلى هذا السطح المرتفع بدأ النهر مساره. ويقطع النهر لمجره قام بالقطع خلال المرتفع أيضا.



انعدامهما الى جانب استقامة مساره وغياب التعرجات بهذا المسار (شكل 9 - 33 أ).

وعند وصول النهر الى مرحلة النضوج تتوقف عملية التعرية العمودية وتبدأ التعرية الجانبية، أى ان النهر الناضج يبدأ فى قطع سهل فيضانه والتعرج فوقه (شكل 9 - 33 ب). وفى هذه المرحلة تبدأ عملية القطع وتكوين اطواق النير. وقد تتكون بعض الارصفة الطبيعية المنخفضة (شكل 9 - 33 ج). وحيث أن معظم الشلالات والمنحدرات قد سويت فان ممال النهر الناضج اقل انحدارا، وقطاعه اكثر تمهيدا من مرحلة الشباب، حيث ان كل السرعات والشلالات قد اختفت من مجراه.

ويدخل النهر مرحلة الكهولة بعد ان يصبح سهل فيضانه اعرض بعدة مرات من نطاق تعرجاته (شكل 9 - 33 د). وتصبح هنا القناة بعيدة عن ضفتى الوادى، ويكون دور النهر فى هذه المرحلة اعادة تعرية رسوبيات سهل الفيضان غير المتاسكة. وحيث ان ذلك اسهل من تعرية قاع المجرى الصخرى، فان النهر فى مرحلة الكهولة ينقل مساره من جانب الى آخر اسرع من مرحلة النضوج. ومثال ذلك تحرك بعض تعرجات نهر الميسيسبى عشرون مترا فى السنة فى الوقت الذى تنتشر على سهل فيضانه العديد من بحيرات طوق النير والتعرجات القديمة المنفصلة. كما يميز الانهار فى مرحلة الكهولة الارصفة الطبيعية تصحبها المستنقعات الخلفية وروافد اليازو.

قد افترضنا الى حد الآن تغير مستوى القاعدة خلال مراحل تطور النهر من مرحلة الشباب الى مرحلة الكهولة. غير انه فى كثير من الاحيان يرتفع مستوى الأرض مما يزيد من ممال النهر فى مرحلة الشباب ويسرع من معدل قطعه عموديا. ففى حالة ارتفاع مستوى الأرض من تحت نهر فى مرحلة الكهولة فانه يتوقف على التعرية الجانبية ويعيد مرحلة القطع العمودية ويقال عن النهر انه جدد شبابه، وتوصف انشاءاته بالتعرجات المتخذقة (شكل 9 - 34). أما النهر

وتساعد دراسة التعرية عند المنشأ الى تفهم التغيرات التى تحدث فى بعض نظم الصرف. واحد اسباب هذه التغيرات ما يعرف بقرصنة المجارى المائية، عندما يتغير اتجاه نظام الصرف لمجرى مائى كنتيجة لتعرية مجرى مائى آخر لمنشئه. فمثلا اذا ما كان المجرى المائى على احد جانبي قاسم جبلى ذو ممال شديد الانحدار ومجرى مائى على الجانب المقابل ذى ممال طفيف، فان المجرى على الجانب الأول له قدرة اعلى على التعرية من المجرى الثانى، وبالتالي سيقوم بمد قناته عند المنشأ متجاوزا القاسم الجبلى ومحتويا جزءا أو كامل شبكة نظام الصرف على الجانب الآخر. ففى الشكل (9 - 31) قد تم احتواء المجرى أ عندما ازاح المجرى ب القاسم الجبلى بينهما عند منشأه الى ان يتقاطع القاسم بالمجرى أ مسببا فى تغيير اتجاهه.

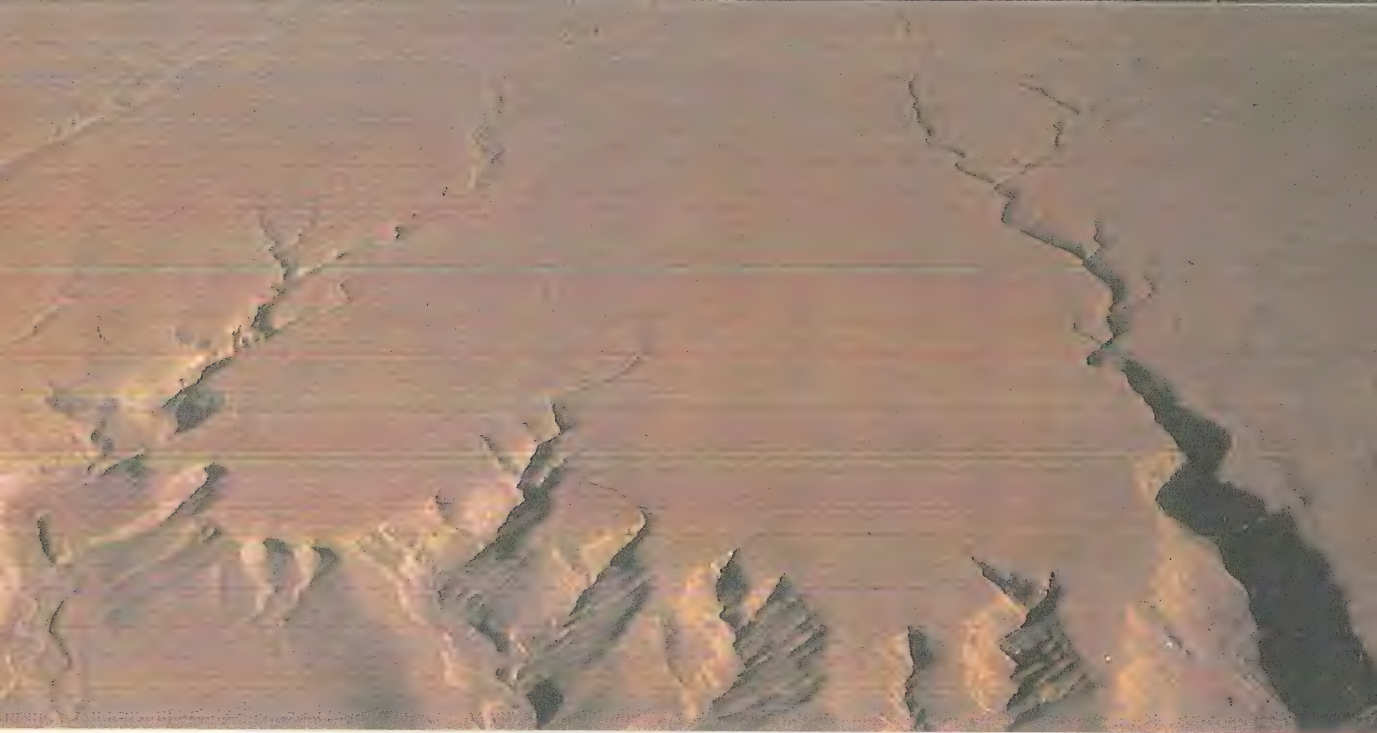
ويرجع كذلك وجود الممرات الضيقة ذات الجوانب الشديدة الانحدار، التى تقتصر الى أى حركة مائية، الى عملية قرصنة المجارى المائية. وتتكون هذه المجارى المهجورة (وتسمى الشغرات الهوائية) بقرصنة مجرى مائى على مجرى آخر محولا اتجاهه (شكل 9 - 32).

## مراحل تكون حوض الوادى

لقد خالف جيمس هاتون وجون بليفيير مفكرى زمانها باعتقادهما ان الانهار هى المسئولة عن حفر قنواتها. وقد عززت الابحاث الجيولوجية بأحواض الانهار هذا الاعتقاد، واضيف الى ذلك ان هذه الاحواض تتطور باستمرار وفى خطوات منتظمة. وقد اطلق مجازا على مراحل تكوّن الانهار تسميات الشباب والنضوج والكهولة.

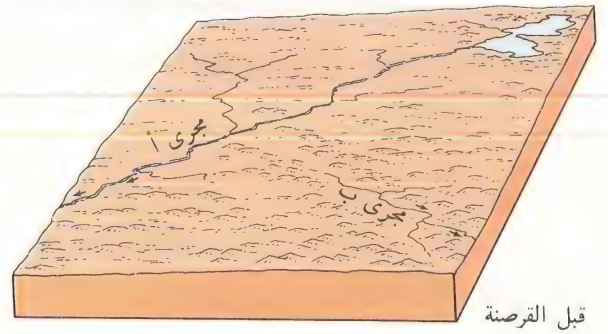
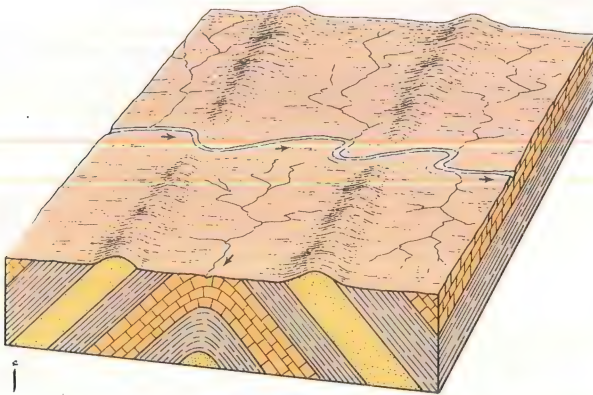
فاذا ما كان النهر مستمرا فى تعرية قناته ليصبح ممهدا يعتبر فى مرحلة الشباب. فالمنحدرات والشلالات والقناة الضيقة على شكل V هى من مميزات مرحلة الشباب الدالة على استمرار النهر فى تعرية قناته. ومن علامات هذه المرحلة كذلك الممال الشديد الانحدار وقلة سهول الفيضانات أو



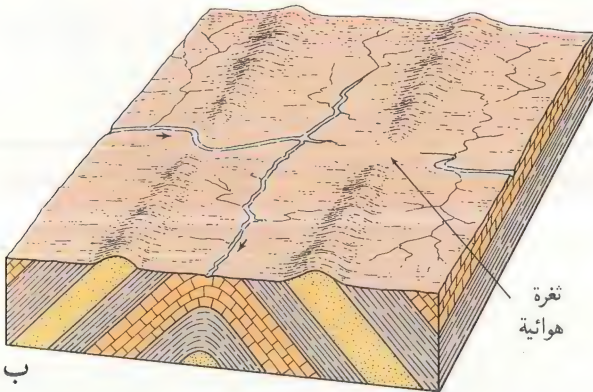


شكل 9 - 30

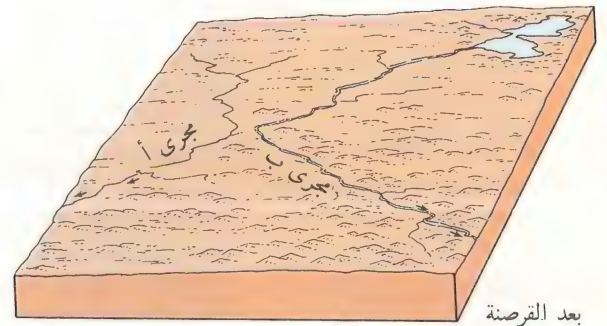
وادی يقوم بمد مساره تجاه المنشأ خلال منطقة لم يسبق شقها بواسطة المجارى المائية.



قبل القرصنة



ثغرة  
هوائية



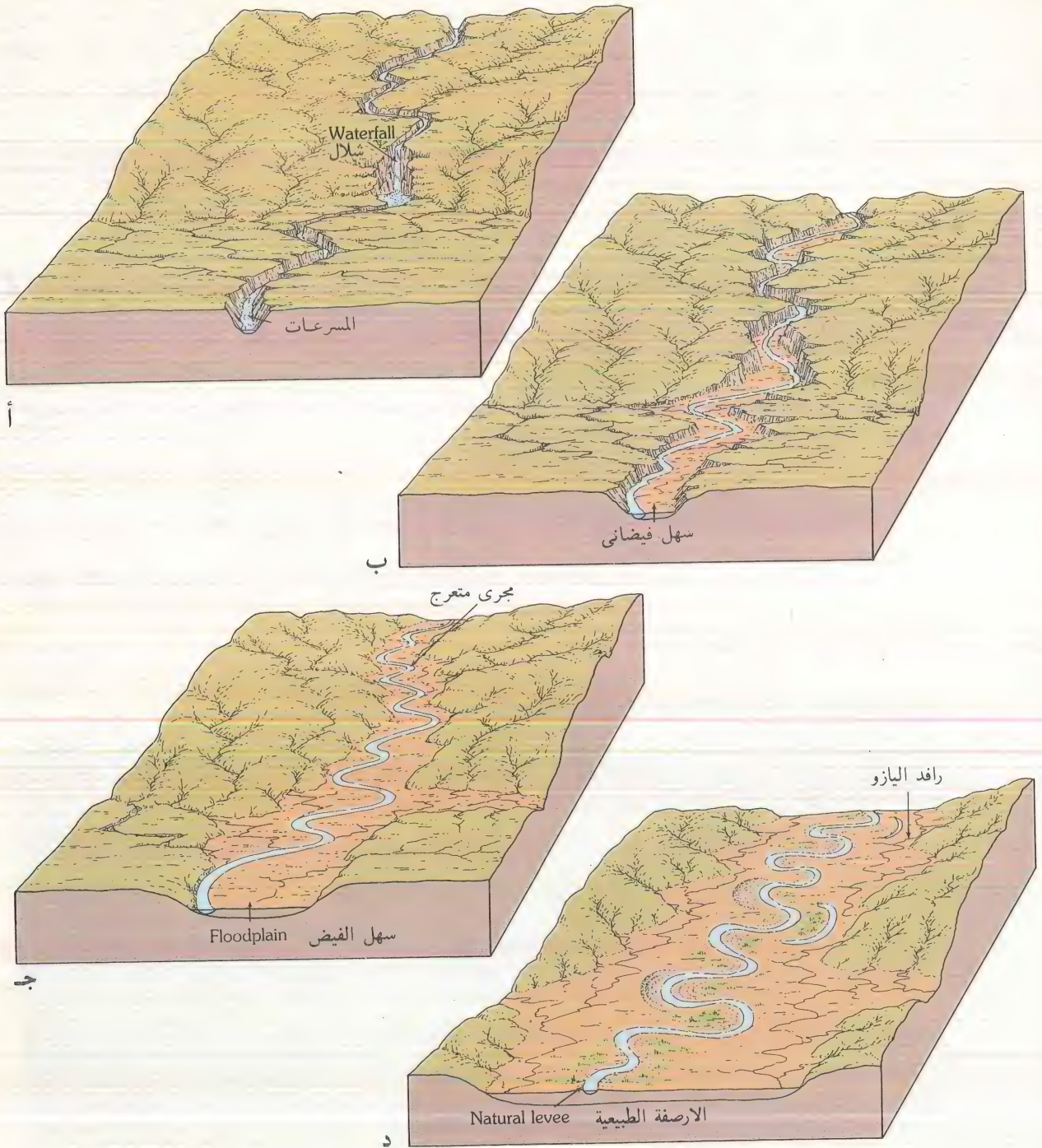
بعد القرصنة

شكل 9 - 31

حيث أن ممال المجرى (ب) اكبر من ممال المجرى (أ) فانه يقوم بمد مساره عند المنشأ ليحوى جزءاً من المجرى (أ).

شكل 9 - 32  
تكوين الثغرة الهوائية





شكل 9 - 33

تطور مجرى الوادى. (أ) - مرحلة الشباب وهي تتميز بالقطع العمودي وبالوادي الذي على شكل V .  
 (ب) ، (ج) - مرحلة النضوج وهي تتكون عند خفض المجرى لمستوى قاعدته وبدنه في التعرية الجانبية  
 مكونا واديا عريضا. (د) - مرحلة الكهولة والتي يصلها المجرى عند قطعة لوادي أعرض عدة مرات من  
 حزام التعرجات.

الفناء يحدث في مجرى الوادي  
 المجرى يزداد اتساعه في رسوبيات سهل الفيض  
 في سهل الفيضات أعرض نطاق ترويض  
 الجسرات في قاع الوادي



مليون سنة. اما النقطة الاخرى حول تطور احواض الانهار هى ان النهر قد تصل بعض أجزائه الى مرحلة من مراحل التطور قبل الاجزاء الاخرى. فغالبا ما يصل اسفل النهر الى مرحلة الكهولة بينما نهايته الاخرى ما زالت في مرحلة الشباب.

### دورة تطور تشكُّل المعالم السطحية

تقوم مسالك المياه اثناء حفر مساراتها بنحت وجه اليابسة. ولشرح هذه العملية المستمرة سنفترض ارضية مسطحة ومرتفعة بمناخ ممطر. فالى أن يتكون مسار مائى فعال تبدأ العملية بانتشار البحيرات والمستنقعات فى كل منخفض بالمنطقة (شكل 9 - 35 أ). ومع تكوّن المسارات المائية

الناضج فيعمل عند رفعه الى بناء سهل فيض جديد على مستوى اقل من سهل فيضه الأول تاركا القديم فى تشكيلات مسطحة تعرف بالمصطبات.

وتبقى الاشارة الى نقطتين لهما علاقة بتطور احواض الانهار اولاهما الوقت اللازم للوصول الى مرحلة من مراحل نموه. ويعتمد هذا على عدة عوامل تشمل مقدرة النهر على التعرية ونوع التكوينات التى يمر بها الى جانب ارتفاعه على مستوى القاعدة. فالنهر المبتدىء، الذى يمر بأرضية سهلة وغير متاسكة مع قربه من مستوى القاعدة، قد يصل الى مرحلة النضوج خلال بضعة مئات من السنين. وعلى العكس من ذلك فنهر مثل نهر كولورادو والذى ما زال مستمرا فى قطع الجرانديكانيون قد احتفظ بمرحلة شبابه لمدة تقدر بحوالى 15

شكل 9 - 34

تعرجات نهر سان خوان المتخذة بولاية نوتا الأمريكية. يقطع النهر مجراه فى مرتفع كولورادو.

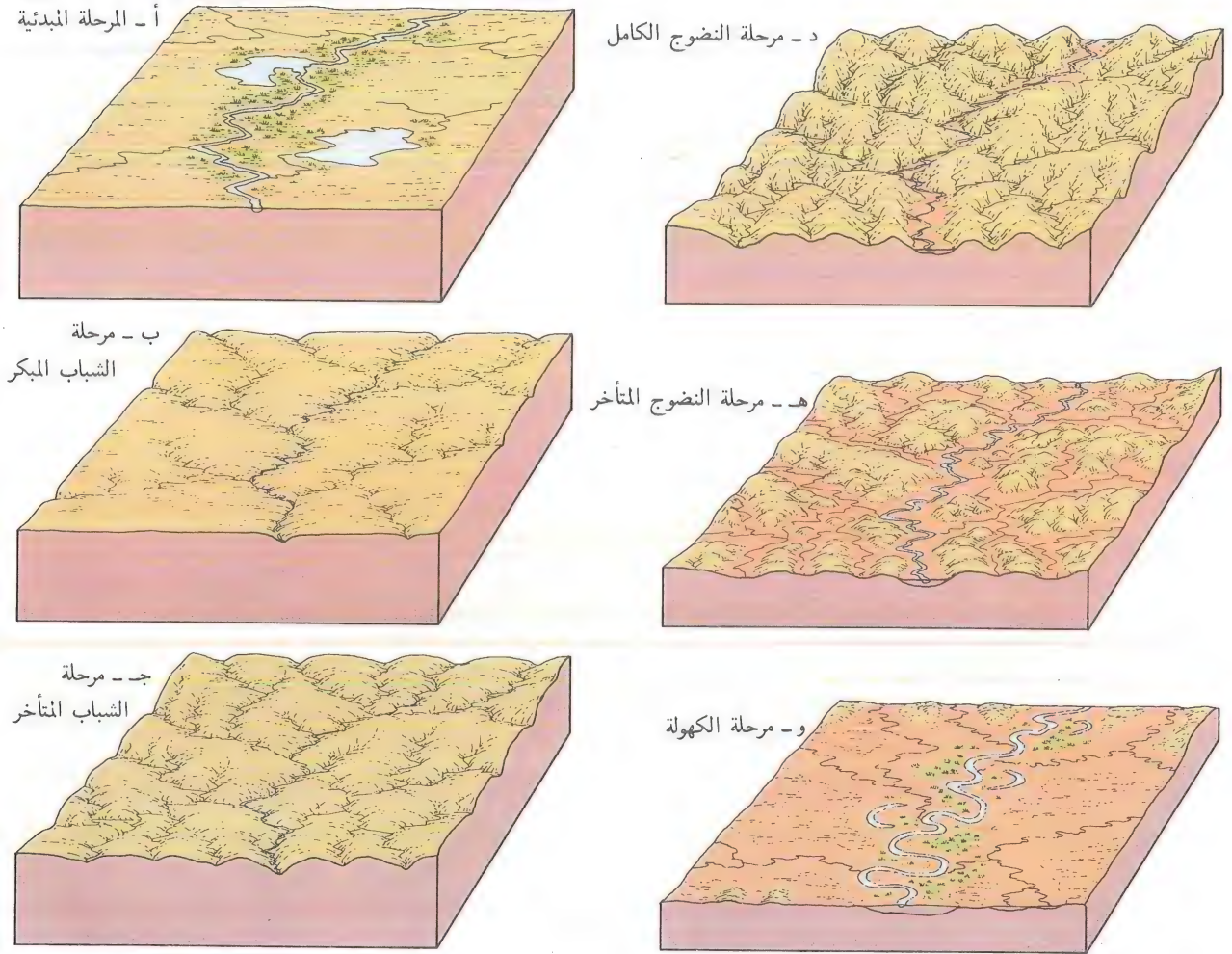




الكهولة تعمل تأثيرات التدفق الصفحي وتبدد الكتلة والتعرية الجانبية مجتمعة على تحويل سطح الأرض الى سهب بالقرب من مستوى القاعدة (شكل 9 - 35 و). وبالرغم من عدم وجود سهب بالوقت الحاضر الا ان الدلائل تشير الى انها تكونت ثم ارتفع مستوى منسوبها مما يضع الدورة في بدايتها مرة اخرى. وقد يحدث هذا الرفع قبل ان تصل الدورة الى مرحلة الكهولة مما يقطع تسلسلها لتبدأ مجددا من أولها.

والبدء في قطع طريقها الى مستوى القاعدة تقوم الانهار باستنزاف مياه البحيرات، مع الابقاء على وضع المنطقة المسطح طوال مرحلة الشباب تتخللها قنوات ضيقة (شكل 9 - 35 ب). ومع استمرار التعرية عموديا تزداد التضاريس وتتحول المنطقة المسطحة الى مرتفعات ووديان وهما من مميزات مرحلة النضوج (شكل 9 - 35 ج). ومن الطبيعي ان بعض المسارات المائية سيصل الى مستوى القاعدة محولا طاقته للتعرية الجانبية. ومع اقتراب الدورة من مرحلة





شكل 9 - 35

نموذج مثالي لدورة تطور المعالم الطبيعية. (أ) - المرحلة المبدئية حيث تفتقر الأرض الى نظام صرف وتقع فوق مستوى القاعدة. (ب) - مرحلة الشباب المبكر حيث تقوم المجارى المائية بقطع مسارات لها على السطح وتحتف المستنقعات. لا تزال المساحة بين المجارى المائية مسطحة نسبيا. (ج) - مرحلة الشباب المتأخر. (د) - مرحلة النضوج حيث قامت المجارى المائية بتعرية كل المساحة الواقعة فيما بينها لتتركها في شكل منحدرات. (هـ) - مرحلة النضوج المتأخر. (و) - ومرحلة الكهولة تقوم التعرية الجانبية وتبدد الكتل بخفض مستوى معظم المرتفعات الى مستوى سهل الفيضان.



## أسئلة

## للمراجعة :

- 1 - اشرح حركة الماء داخل الدورة المائية. ما هي المسالك المتوفرة للماء حال نزوله على سطح الأرض؟
- 2 - لماذا لا ينخفض مستوى سطح البحر بالرغم من أن التبخر في المحيطات لا تضاهيه قيمة المياه المتساقطة عليها؟
- 3 - عدد العوامل المتحكم في مقدار الارتشاح؟
- 4 - يتحرك الماء مبدئياً في رقائق. اشرح باختصار مدى صحة هذه الجملة.
- 5 - اذا كانت بداية احد الانهار تقع على ارتفاع 2000 متر من سطح البحر فما هو معدل عماله بالمتر الى الكيلومتر الواحد اذا كان طوله 250 كيلومتراً؟
- 6 - اذا وصل طول النهر المذكور في السؤال 5 حوالى 500 كيلومتر لتعرجه، احسب عماله الجديد، واذكر مدى تأثير التعرجات على الممال.
- 7 - ماذا يحدث لسرعة المجرى المائى اذا ما زادت قيمة دفعه؟
- 8 - ماذا يحدث عادة لعرض وعمق قناة مجرى مائى وكذلك سرعته وتدفقه من المنشأ الى المصب؟ استعن بالشكل 8-9. اشرح باختصار سبب كل هذه التغيرات.
- 9 - كيف تتوقع أن تتأثر المجرى المائية بمنطقة تم اعمارها حديثاً؟
- 10 - عرف مستوى القاعدة. اذكر احد المجرى المائية بمنطقة. هل يعتبر مستوى قاعدة لمجرى مائية اخرى؟
- 11 - لماذا تتميز المجرى المائية بانخفاض قيمة عمالها قرب المصب؟
- 12 - اشرح ثلاثة وسائل يمكن بواسطتها للمجرى المائى ان يعمل على تعرية قناته. أى هذه الوسائل مسئول عن تكوين الفجوات الدردورية؟
- 13 - اذا ملأت كاساً من ماء احدى المجرى المائية فأى أنواع الحمولة تتوقع ان يترسب أولاً؟ وأى جزء تتوقع أن يبقى فى الماء؟ وأى أجزاء الحمولة لا تتوقع وجودها فى عينتك؟
- 14 - ما هي سرعة الترسب؟ ما هي العوامل المؤثرة فى سرعة الترسب؟
- 15 - ميز بين الاستيعاب والكفاءة.
- 16 - اشرح احد الظروف اللازمة لتكون مجرى مجدول.
- 17 - تحتاج حبيبات الطين الدقيقة الى سرعة أكبر لدفعها بينما تحتاج حبيبات الرمل الأكبر حجماً الى سرعة أقل. وضح ذلك.
- 18 - اشرح باختصار كيف تتكون الارصفة الطبيعية. ما علاقة هذه الظاهرة بالمستنقعات الخلفية وروافد اليازو؟



19 - ما هو وجه الشبه بين الدلتا والمراوح الركامية؟ ما هو الفرق بينهما؟

20 - ما هو الغرض من انشاء قنوات القطع الصناعية؟

21 - تشير كل من الجمل التالية الى نوع من نظم الصرف، اذكر كلا منها:

أ - مجارى مائية منطلقة من مرتفع عال مثل القبة .

ب - متفرع مثل الشجرة .

ج - يتكون عندما تكون صخور المنطقة مقطعة بالفواصل وبالصدوع .

22 - اشرح كيف تتكون الثغرة المائية .

23 - كيف يمكن أن يكون النهر في مرحلة الشباب وهو اقدم (بالسنوات) من نهر في مرحلة الكهولة؟

24 - هل تصلح الانهار في مرحلة الكهولة كحدود سياسية؟ اشرح .

## الكلمات الدالة :

discharge	دفق	infiltration	ارتشاح
delta	دلتا	capacity	استيعاب
hydrologic cycle	دورة مائية	oxbow lake	بحيرة طوق النير
yazoo tributary	رافد اليازو	evapotranspiration	تبخر ونتح
point bar	رسوبيات لسان المجرى	sheet flow	تدفق صفحي
natural levee	رصيف طبيعي	turbulent flow	تدفق عكر
settling velocity	سرعة الترسب	laminar flow	تدفق رقائق
infiltration capacity	سعة الارتشاح	distributary	ترعة أو موزع
penepplain	سهب	meander	تعرج
floodplain	سهل فيضان	entrenched meander	تعرجات متخذقة
waterfall	شلال	headward erosion	تعرية المنشأ
cut bank	ضفة القطع	water gap	ثغرة مائية
bottomset beds	طبقات القاعدة	wind gap	ثغرة هوائية
topset beds	طبقات القمة	rills	جداول
foreset beds	طبقات المقدمة	bed load	حمولة القاع
alluvium	طمي	dissolved load	حمولة ذائبة
bar	عقبة	suspended load	حمولة معلقة
lag time	فترة فاصلة	drainage basin	حوض الصرف
pothole	فجوة درديرية		
sorting	فرز		



temporary (local) base level	مستوى قاعدة مؤقت	divide	قاسم جبلي
ultimate base level	مستوى قاعدة نهائي	stream piracy	قرصنة المجرى
mouth	مصب	longitudinal profile	قطاع طولى
terrace	مصطبة	cutoff	قناة القطع
gradient	ممال	competence	كفاءة
head (headwaters)	منبع	antecedent stream	مجرى سابق
runoff	مياه جارية	stream	مجرى مائى
transpiration	نتح	rejuvenated stream	مجرى مجدد شبابيه
meander scar	ندبة التعرج	braided stream	مجرى مجدول
radial pattern	نظام صرف شعاعى	superposed stream	مجرى مركب
trellis pattern	نظام صرف شعرى	graded stream	مجرى ممهد
dendritic pattern	نظام صرف متشجر	alluvial fan	مروحة ركامية
rectangular pattern	نظام صرف متعامد	back swamp	مستنقع خلفى
saltation	وثب	base level	مستوى قاعدة

radial  
pin point  
rectangular  
trellis







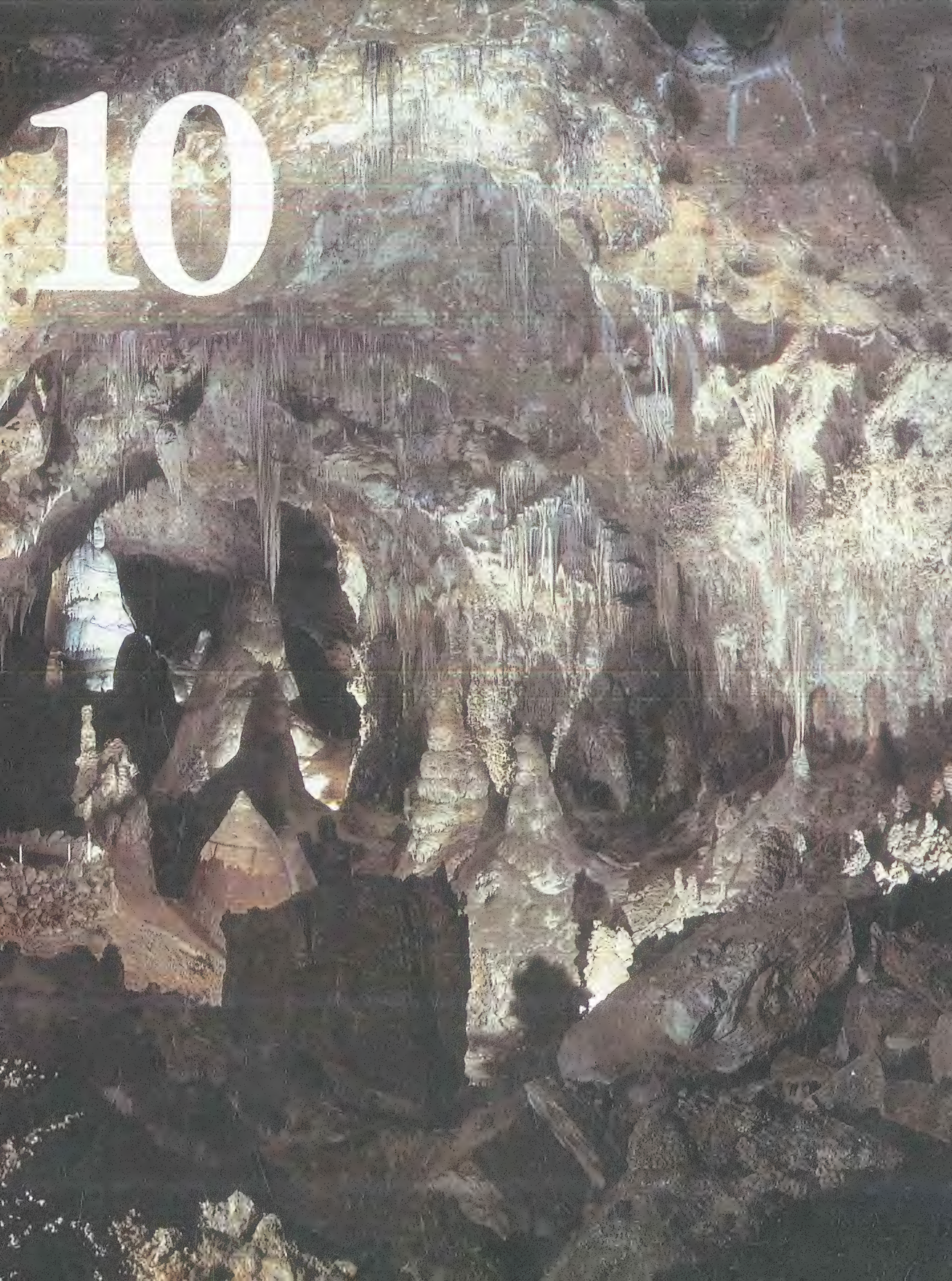
# 10



المياه الجوفية



10





## توزيع المياه الباطنية

منسوب الماء

المسامية والنفاذية

حركة المياه الجوفية

العيون

الآبار

الآبار الارتوازية

المشاكل المصاحبة لسحب المياه الجوفية

- الانخفاض

- تداخل مياه البحر

تلوث المياه الجوفية

العيون الساخنة والحماط

والطاقة الحرارية الأرضية

- العيون الساخنة

- الحماط

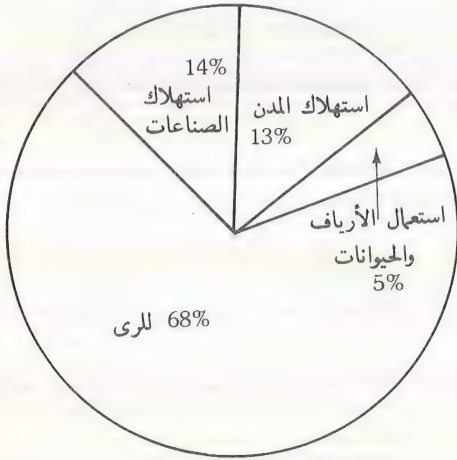
- الطاقة الحرارية الأرضية

الآثار الجيولوجية للمياه الجوفية

- المغارات

- طبوغرافية الكارست

وفي كثير من أرجاء العالم لا تقتصر أهمية مياه الآبار والينابيع على حاجات الأعداد الهائلة من البشر، بل تشمل إلى جانب ذلك المحاصيل والماشية ومجالات الصناعة المختلفة (شكل 10 - 1). ومن آثار التعرية الناتجة عن المياه الباطنية تكوّن المغارات والملامح المشابهة لها.



شكل 10 - 1

تم تقدير استهلاك المياه الجوفية سنة 1980 بحوالى 334,5 بليون لتر يوميا. منها 68 % للرى و13 % استهلاك المدن و5% بالأرياف.

## توزيع المياه الباطنية

عند هطول مياه الأمطار يجرى جزء منها في مسارات على السطح ويتبخر جزء آخر، أما الباقي فينفذ إلى باطن الأرض. ويمثل هذا الأخير عموما المصدر الرئيسى للمياه الباطنية. وتختلف كمية المياه التى تأخذ أحد هذه المسارات باختلاف ظروف المكان حيث أنها تعتمد على عدة عوامل، تشمل شدة الانحدار وطبيعة مكونات السطح وكمية الأمطار إلى جانب نوع وكثافة الغطاء النباتى. فالأمطار الغزيرة الهاطلة على انحدار شديد وكتيم سينتج عنها حتما كمية كبيرة من المياه الجارية، غير أن الانحدار الطفيف المكون من مواد تسمح للمياه بالمرور من خلالها سينتج عنه كميات أكبر من المياه الباطنية.

بالرغم من ضخامة كمية المياه المخزونة بالصخور الرسوبية تحت سطح الأرض، نجد أنها لا تزيد عن ستة أعشار من الواحد بالمائة من مجموع كمية المياه بالكرة الأرضية. وحسب تقديرات المتخصصين فإن كمية المياه بالثمانمائة متر العليا من القشرة الأرضية، تضاهى ثلاثة آلاف ضعف حجم المياه بجميع أنهار المعمورة، وما يقارب عشرين ضعفا لحجم مياه الأنهار والبحيرات مجتمعة.

مدخل التجويف الكبير بقرية كارلسباد التى عملت المياه الباطنية على زخرفتها.



وبعض المياه المتسربة الى ما تحت السطح لا تنساب بعيدا حيث انها تقع تحت تأثير الانجذاب الجزيئي مكونة غشاء على سطح حبيبات التربة. ويتبخر فيما بعد جزء من هذه المياه وتستفيد النباتات بمعظم الجزء الباقي بين فترات هطول الامطار. اما الجزء الباقي، المتسرب الى ما تحت السطح وغير العالق بطوق التربة الرطب، يستمر في تعمقه الى ان يقابل الطبقة المشبعة أى التى تمتلئ جميع الفراغات بين مكوناتها (شكل 10 - 2). وتسمى المياه فى هذا النطاق المشبع بالمياه الجوفية، كما تعرف الحدود العلوية لهذا النطاق بالمنسوب المائى. ويعلو المنسوب المائى منطقة الاناييب الشعرية Capillary fringe منطقة الأنايب الشعرية Water table مستوى منسوب المياه المياه الجوفية

نطاق التربة المشبع  
النطاق الهوائى  
النطاق المشبع

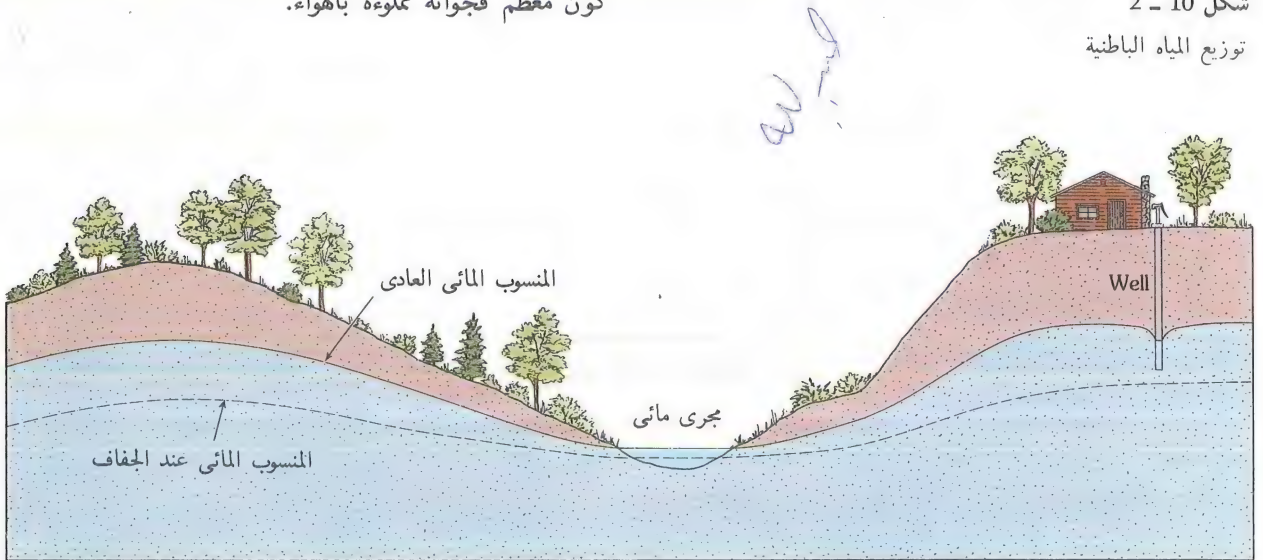
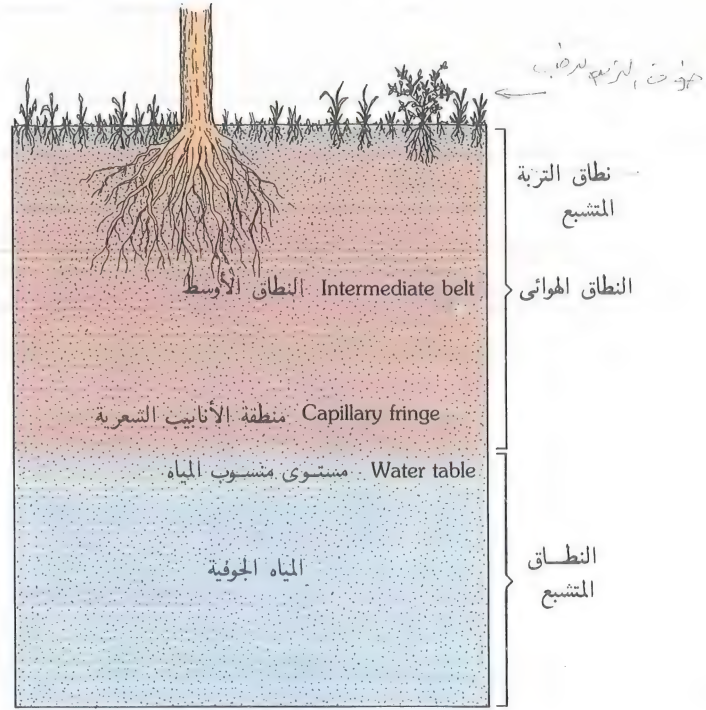
المنسوب المائى العادى  
المنسوب المائى عند الجفاف  
مجرى مائى

Well

شكل 10 - 2  
توزيع المياه الباطنية

شكل 10 - 3

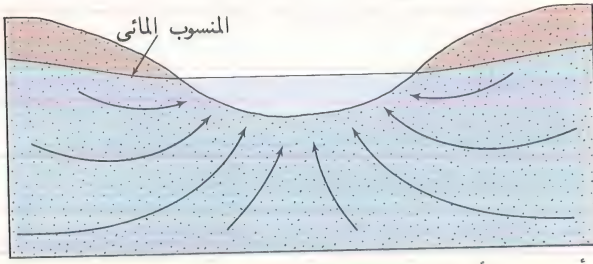
عادة ما يعكس المنسوب المائى تضاريس السطح. عند مواسم الجفاف يهبط المنسوب المائى مسببا نقصان الماء بالمجرى وجفاف بعض الآبار .



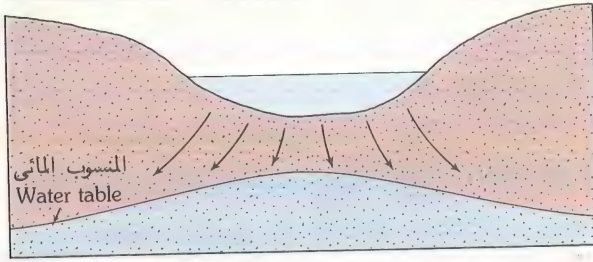
شكل 10 - 3  
عادة ما يعكس المنسوب المائى تضاريس السطح. عند مواسم الجفاف يهبط المنسوب المائى مسببا نقصان الماء بالمجرى وجفاف بعض الآبار .



## منسوب الماء



أ - مجرى متأثر



ب - مجرى مؤثر

شكل 10 - 4

(أ) - تميز الأنهار المتأثرة المناطق الممطرة حيث تستمد البعض من مياهها من نطاق التشبع. (ب) - وتتميز الأنهار المؤثرة المناطق الصحراوية حيث يعمل الماء المتسرب إلى المنسوب المائي في رفع مستوى المنسوب المائي على شكل محبب تحت المجرى.

المائي يكون بعيدا عن السطح، تفقد الأنهار القادمة من المناطق الممطرة كميات من الماء مغذية باستمرار النطاق المشبع تحتها مما يسبب في انحناء مستوى المنسوب المائي إلى أعلى. ويشار إلى الأنهار في هذه الحالة بالمؤثرة (شكل 10 - 4 ب).

## المسامية والنفاذية

تختلف كمية المياه المخزنة والمياه التي تجري على السطح بناء على اختلاف طبيعة مواد تحت السطح حيث أن المياه تتسرب إلى باطن الأرض لوجود فجوات أو فتحات بالصخور أو الرسوبيات أو التربة. وتشبه هذه الفتحات فراغات الإسفنج. وغالبا ما تسمى بالفراغات المسامية. وعموما تعتمد كمية المياه التي يمكن تخزينها على مسامية

يعتبر المنسوب المائي والذي يمثل الحد العلوي للنطاق المشبع ظاهرة ذات أهمية كبيرة لفهم المياه الجوفية. ويعتمد التنبؤ بسلوك الآبار على مستوى منسوب الماء بها كما يعتمد عليه التغيير في قوة تدفق العيون والأنهار والتذبذب في مستوى الماء بالبحيرات.

وبالرغم من عدم مقدرتنا على رؤية المنسوب المائي فإنه بالإمكان توضيحه على خرائط ودراسته بتفصيل عند توفر العديد من الآبار، حيث أن موقعه يتطابق والحد الأعلى لنطاق التشبع. وتبين خرائط المنسوب المائي أنه ليس أفقيا بمعنى الكلمة، بل يعكس طبوغرافية السطح الذي يعلوه، بارتفاع أقصى تحت التلال متناقصا في اتجاه الوديان (شكل 10 - 2). ويتساوى المنسوب المائي مع سطح الماء بالمستنقعات، ويعلو سطح الأرض بالبحيرات والأنهار.

وهناك عدة عوامل تؤدي إلى عدم انتظام مستوى سطح المنسوب المائي. منها التباين في كمية الأمطار والنفاذية من مكان إلى آخر، والتي قد تؤدي إلى عدم توازن تسرب الماء وبالتالي اختلاف ارتفاع المنسوب المائي. ومن أهم العوامل المؤدية إلى عدم الانتظام هو أن المياه الجوفية، تتحرك ببطء وبمعدلات مختلفة تحت ظروف مختلفة. فمثلا المياه الجوفية والبعيدة عن مجاري الأنهار في وسط التلال، هي أبطأ في حركتها من تلك القريبة من مجاري الأنهار. وعليه فإن المياه تتجمع تحت التلال. وعند توقف هطول الأمطار فإن الجزء المرتفع من المنسوب المائي تحت التلال يهبط تدريجيا حتى يقترب من مستوى الوديان، غير أن هطول الأمطار من آن إلى آخر يحول دون ذلك. وعليه فإن استمرار الجفاف مدة من الزمن يؤدي إلى نزوب آبار المياه الجوفية الضحلة (شكل 10 - 3).

وفي المناطق الممطرة نجد أن الأنهار يتم إمدادها وبشكل مستمر بالمياه الجوفية. وتعرف هذه الأنهار بالمؤثرة (شكل 10 - 4 أ). أما في المناطق الجافة، حيث أن المنسوب

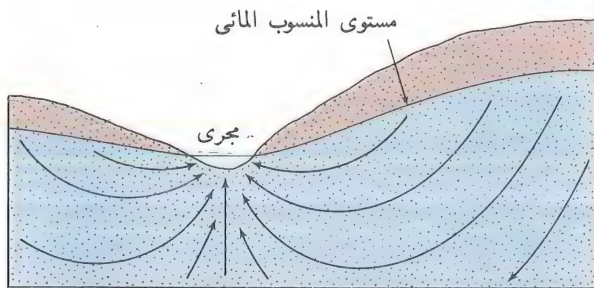


بالحيبيات يمس بعضه البعض ويتداخل مما ينتج عنه قوة الانجذاب الجزيئي، التي تعمل على تثبيت المحتوى المائي في مكانه. ويمثل هذه الظاهرة الرسوبيات الطفلية. فبالرغم من مقدرتها العالية على تخزين الماء، فإن صغر حجم فجواتها يمنعه من الحركة. ويطلق على الطبقات غير المنفذة للماء كالبطين تسمية الطبقات اللامائية. وبالعكس من ذلك فإن الرمل والحصى بها مسام أكبر، وعليه فإن الماء بفجواتها لا يقع تحت تأثير الانجذاب الجزيئي، ويمكنه الحركة بحرية أكبر. وتسمى هذه الصخور أو الرسوبيات المنفذة والتي تمرر الماء بالطبقات المائية.

وباختصار فقد رأينا أن المسامية لا يعتمد عليها دائما في تقدير كمية الماء الممكن الحصول عليها، وأن النفاذية عامل مهم لحركة الماء وكميته، والتي يمكننا ضخها من بئرها.

### حركة المياه الجوفية

تعتمد المياه الجوفية في حركتها على الجاذبية. فكد فعل للجاذبية يتحرك الماء من مناطق بها منسوب مائي عالٍ إلى مناطق ذات منسوب مائي منخفض في اتجاه قناة مجرى مائي أو بحيرة أو عين. وبعض المياه تأخذ طريقها أسفل منحدرات المناسيب المائية مباشرة، غير أن معظمها تتبع مرات ملتوية تجاه نطاق الدفع. فكما بين الشكل 10 - 5



شكل 10 - 5

تشير الأسهم إلى حركة المياه الجوفية خلال طبقة نفاذه متجانسة. ويعتقد بأن الانحناء يعمل على التعادل بين الجاذبية من جهة واتجاه الماء للحركة إلى المناطق ذات الضغط المنخفض من جهة أخرى.

المادة، التي تحسب بنسبة حجم الفراغات إلى الحجم الكلي للصخر أو الرسوبيات الحاوية لها. وبالرغم من أن معظم هذه الفتحات تتكون من فجوات بين جزيئات الرسوبيات أو الصخور الرسوبية، فإنها قد تتواجد في أشكال أخرى، مثل الكيبسات (فجوات تتكون على أثر انطلاق الغازات من الحمم البركانية) أو الصدوع والانكسارات والفجوات الناتجة عن المحاليل المؤثرة في الصخور القابلة للذوبان كالجبس الجيري.

وكما هو متوقع فإن المسامية تختلف اختلافا كبيرا حسب أنواع الصخور. فالرسوبيات عموما غنية بمسامها، حيث تتراوح الفجوات بها من 10 إلى 50 في المائة من الحجم الكلي. وتعتمد نسبة المسام على حجم وشكل الحبيبات وكذلك مدى رزمها ودرجة فرزها ونوع مادة اللصاق وحالة الصخور الرسوبية. فمثلا تصل مسامية الطفلة إلى 50 بالمائة في الوقت الذي تكون فيه الفجوات ما يقارب 20 بالمائة لكثير من الرمال والحصى. وتقل المسامية بخلط مواد من أحجام مختلفة، حيث أن الحبيبات الصغيرة تعمل على سد الفجوات بين الحبيبات الأكبر حجما. أما الصخور النارية والمتحولة وبعض الصخور الرسوبية فهي قليلة المسامية، وذلك لشدة تشابك بلورات مكوناتها. وقد تكون الفتحات بين حبيبات صخر ما غير ذات أهمية ولا تزيد قيمتها عن واحد أو اثنين بالمائة، وعليه فإن تشققها هو السبيل الوحيد إلى زيادة مساميتها.

والمسامية ليست المقياس الوحيد الدقيق الذي يعتمد عليه في الحصول على المياه الجوفية. فقد يكون الصخر أو الرسوبيات ذات مسامية عالية، غير أنها لا تسمح للماء بالمرور خلالها. وعليه فإن النفاذية وهي قدرة الماء على تمرير السوائل تعتبر ذات أهمية في هذا الشأن. فالمياه الجوفية تتحرك في مسالك ملتوية ومتعرجة خلال فتحات صغيرة، وكلما صغرت المسام كلما ازداد بطء حركة المياه خلالها. وإذا ما كانت الفجوات صغيرة جدا فإن غشاء الماء المتصق



كذلك المواد المشعة، وخاصة نظائر الكربون المشعة (كربون 14) في إيجاد سرعة حركة المياه الجوفية. فعند دخول الماء الى باطن الأرض فان ثانى اكسيد الكربون الذائب به يحتوى على كمية من كربون 14. وبنفاذ الماء بالتدرج خارج الأرض يتحلل الكربون المشع. ويقاس معدل الحركة بحساب المسافة بين مكان تسرب الماء ومكان سحبه وقسمة ذلك على العمر المقاس بواسطة العنصر المشع. هذا وقد بينت مثل هذه التجارب بأن سرعة الماء متباينة بشكل كبير. فبالرغم من ان المعدل النموذجى لحركة المياه داخل الكثير من الطبقات المائية يبلغ حوالى 15 مترا فى السنة (4 سنتيمترات فى اليوم) فقد تم قياس سرعة تفوق هذا المقدار بحوالى 15 ضعفا وذلك فى المناطق ذات النفاذية العالية جدا.

### العيون

اثارت العيون انتباه وحيرة البشر منذ آلاف السنين، حيث انها كانت ولا زالت عند البعض ظاهرة غريبة يصعب فهم كنهها. ويلاحظ هنا تدفق الماء من مصدر لا ينضب تحت جميع الظروف المناخية. وبناء عليه سادت اعتقادات طريفة محاولة تفسير مصادر العيون. وبالرغم من عدم صحتها الا ان بعضها بقى متداولاً حتى الآن، منها ان العيون تستمد مياهها من المحيطات، غير ان معضلة ازالة الأملاح من مياه المحيطات وانتقالها الى اعلى الجبال بقيت تطرح نفسها دون اجابة. وتفسير آخر لقي مساندة العالم ارسطو هو احتمال تكثف بخار ماء الهواء الجوى النافذ الى مغارات تحت السطح.

وقد كان الاعتقاد سائدا حتى اواسط القرن السابع عشر بأن مياه الأمطار لا يمكن أن تكفى لتغذية العيون والأنهار مجتمعة. وقد اثبت عدم صحة ذلك عالم الطبيعة الفرنسى بيير بيرولت، الذى دأب على حساب متوسط المياه الجارية بنهر السين سنويا عن طريق حساب الصرف المائى للنهر. وبعد اخذ كمية الماء المتبخرة فى الحسبان وجد ان

فان الماء يتنفذ الى المجرى من كل الاتجاهات بما فى ذلك العمودى منها اى فى اتجاه معاكس للجاذبية. ويحدث ذلك لاختلاف ارتفاع المنسوب المائى الذى ينتج عنه اختلاف فى ضغط المياه الجوفية عند ارتفاع معين. وبمعنى آخر فان الماء يكون تحت ضغط اعلى اسفل المرتفعات منه تحت المجرى المائى، مما يدفعه للانسياب تجاه منطقة الضغط المنخفض. وعليه فان الممرات المتوتية التى يتبعها الماء فى نطاق التشبع قد تكون لمعادلة قوة الجاذبية الى اسفل والحركة تجاه مناطق الضغط المنخفض.

وقد تم وضع اسس المفهوم الحديث لحركة المياه الجوفية خلال منتصف القرن التاسع عشر. فقد وضع هنرى دارسى، وهو مهندس فرنسى كان يدرس احتياجات مدينة ديجون الفرنسية من المياه، قانوناً لا يزال يحمل اسمه. فقد وجد دارسى انه اذا ما ثبت مقدار النفاذية فان سرعة الماء تزيد بزيادة انحدار المنسوب المائى. ويعرف انحدار المنسوب المائى بالميل المائى، وهو يحسب بقسمة المسافة العمودية بين نقطة اعادة التشبع ونقطة الدفق (المسافة الرأسية) على مسافة انسياب الماء بين هاتين النقطتين ويمكن صيغة قانون دارسى كما يلى:

$$s = \frac{r}{l} \text{ ك}$$

حيث تمثل (س) السرعة و (ر) المسافة الرأسية و (ل) مسافة الانسياب و (ك) معامل النفاذية.

ونظرا لكمية الاحتكاك العالية فان الماء يتحرك ببطء شديد. وهذا من حسن الحظ حيث ان حركة الماء البطيئة تمنع الخزانات المائية من النضوب السريع. فاذا ما تحركت المياه الجوفية بنفس سرعة المجارى المائية السطحية فان الآبار تنضب بعد فترة قصيرة من توقف هطول المطر.

وقد تم حساب معدل حركة الماء بطرق مباشرة عديدة. واحد هذه الطرق وضع صبغة فى احد الآبار ثم يحسب الزمن اللازم لانتقالها الى بئر أخرى على بعد معلوم. وقد استعملت



وحفر بئر مائية منتجة تمثل مشكلة مألوفة في المناطق المعتمدة على المياه الجوفية. فقد يمكن العثور على الماء عند عمق 10 أمتار في بئر ما، بينما يلزم حفر ضعف هذا العمق للوصول الى مصدر مناسب في بئر مجاورة. وقد يلزم الحفر الى اعماق اكثر من ذلك، أو تجدنا مضطرين لاعادة الحفر في منطقة اخرى. وبعض اسباب حفر الآبار المنتجة يوضحها الشكل (10 - 9). ففي الشكل 10 - 9 أ يعتبر المنسوب المائي المعلق سببا في الاختلاف، حيث ان البئر المنتجة قد نفذت الى الماء فوق طبقة الطين بينما البئر غير المنتجة لم تصادف هذا المنسوب ولم تكن على عمق كاف للنفاذ الى مستوى المنسوب المائي الرئيسى. ويبين الشكل 10 - 9 ب الصعاب المتوقعة عند حفر بئر في منطقة صخور بلورية، حيث أن وجود الماء يقتصر على الشقوق. ويعتمد حفر البئر المنتجة في هذه الحالة على الصدفة في اختراق شبكة كافية من التشققات الصخرية.

### الآبار الارتوازية

يستعمل البعض خطأ مصطلح الآبار الارتوازية للإشارة الى الآبار العميقة، كما يعتقد البعض بضرورة تدفق الماء فوق السطح لتسمية البئر بالارتوازية. فالوضع الارتوازي هو كل حالة يرتفع فيها الماء الواقع تحت الضغط فوق مستوى الماء داخل الطبقة المائية. ولا يعنى ذلك كما سنرى ضرورة انسياب الماء على السطح. ولحصول هذه الظاهرة لا بد من توفر شرطين (شكل 10 - 10 أ): (1) اقتران الماء على طبقة مائية مائلة بحيث يكون احد أطرافها تكشف على السطح لاستقبال المزيد من الماء و (2) وجود طبقة لائمية فوق وتحت الطبقة المائية لمنع تسرب الماء. وعند حفر بئر تنفذ الى مثل هذه الطبقة فان الماء يرتفع تحت تأثير ضغط الماء عند الجهة الأعلى. وإذا لم يكن هناك قوة احتكاك فان الماء بالبئر الارتوازية سيرتفع الى مستوى الماء بالجزء المرتفع من الطبقة المائية. غير ان قوة الاحتكاك تقلل من ارتفاع

ولا يقتصر وجود العيون على مناطق المناسيب المائية المعلقة بل هناك أنواع من العيون تتبع من خلال صخور بلورية عديمة النفاذية وذلك من خلال الصدوع والتشققات او قنوات التحلل داخل هذه الصخور. فاذا ما تقاطعت هذه المسالك المائية بسطح الأرض على احد المنحدرات تكونت عين مائية.

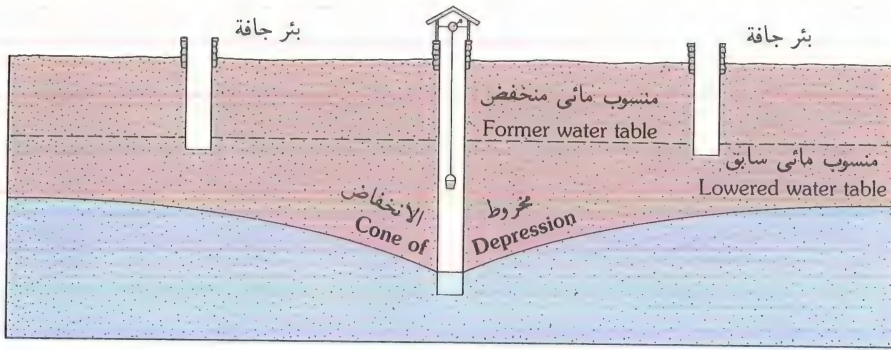
### الآبار

من أكثر مصادر المياه المستعملة شيوعا البئر وهو فتحة يتم حفرها للوصول الى النطاق المشبع. وتمثل الآبار خزانات صغيرة يتجمع فيها الماء ليتم فيما بعد ضخه الى سطح الأرض. وبالرغم من امتداد تاريخ الآبار الى عدة قرون سالفة فإن أهميتها ما زالت قائمة الى الوقت الحاضر حيث ان المساحات المروية بمياه الآبار تزيد في كثير من بلدان العالم عن تلك المروية بمياه الأنهار.

ومستوى الماء بالآبار دائم التغير تبعا لفصول السنة. فهو ينخفض خلال الفصول الجافة ويرتفع بعد هطول الأمطار. وعليه للتأكد من استمرار الانتاج المائي لأى بئر يفضل أن تكون نهايتها عدة امتار تحت المنسوب المائي.

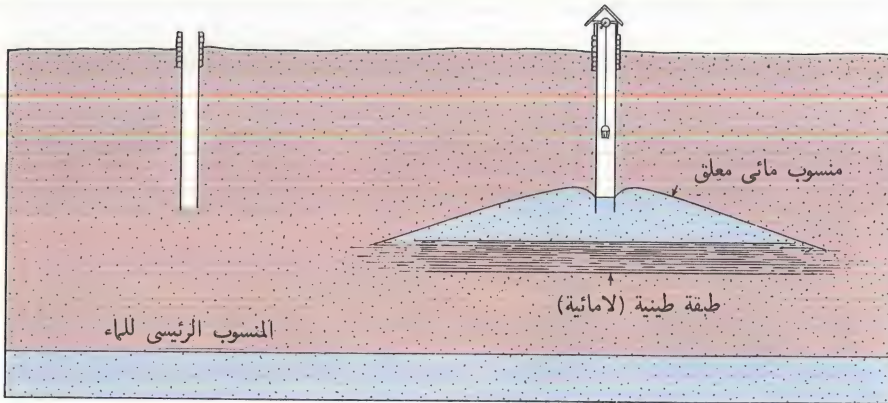
وعند سحب المياه من بئر ينزل مستوى المنسوب المائي حول البئر المائي وينقص مدى تأثير هذه الظاهرة والمسماة بظاهرة انخفاض المنسوب، وذلك كلما ابتعدنا عن البئر. وينتج عن ذلك انخفاض المنسوب المائي في شكل مخروط يعرف بمخروط الانخفاض (شكل 10 - 8). وحيث ان مخروط الانخفاض يزيد من المال المائي بالقرب من البئر فان المياه الجوفية تنساب بسرعة اكبر تجاه البئر الصغيرة ذات الاستعمال اليومي المحدود. أما في حالة استعمال البئر للرى أو في الأغراض الصناعية، فان الضخ سينتج عنه مخروط انخفاض كبير وشديد الانحدار، مما ينزل من مستوى المنسوب المائي في المنطقة ويسبب في جفاف الآبار الضحلة القريبة منه (شكل 10 - 8).





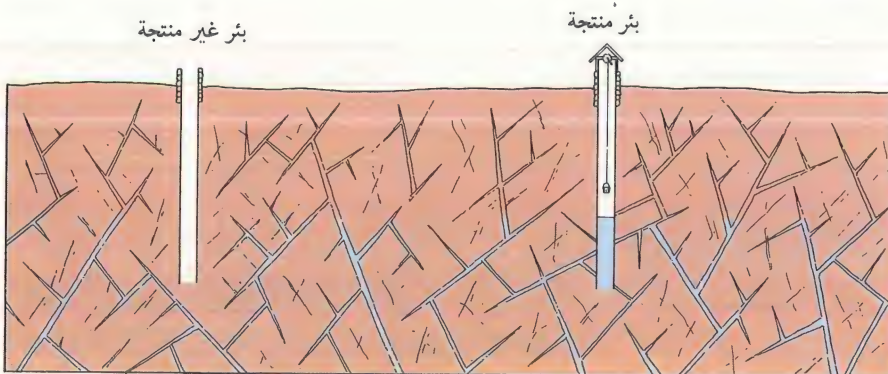
شكل 10 - 8

غالبا ما يتكون مخروط الانخفاض حول البئر التي تضخ منها الماء. فاذا ما زاد الضخ قد ينتج عنه جفاف الآبار الضحلة المجاورة.



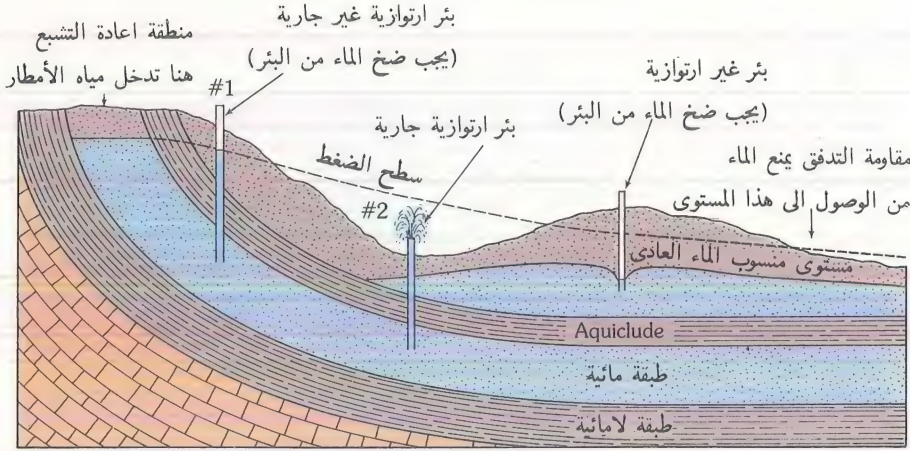
شكل 10 - 9

(أ) - الجار الذي عثر على الماء حفر بئرته خلال المنسوب المائي المعلق. في الوقت الذي يتحتم على جاره تعميق بئرته للوصول الى المستوى الرئيسي المنسوب للماء. (ب) - ينحصر وجود الماء في الصخور البلورية على التشققات. ويعتمد هنا مدى نجاح البئر على مرونها بشبكة كافية من التشققات.



ب





شكل 10 - 10

(أ) - تحدث الظاهرة الارتوازية عندما تحاط طبقة مائية بطبقتين غير مائيتين.  
(ب) - بئر ارتوازية جارية.

ب

هذه الحالة تصل المياه الجوفية الى السطح خلال التشققات الصخرية بدل ارتفاعها داخل الآبار. وتعمل الظروف الارتوازية عمل القنوات في توصيل الماء من المناطق البعيدة حيث عملية التشبع الى مناطق نقاط الدفع. ويوضح الشكل 10 - 11 بئراً ارتوازية يندفع منها الماء عدة امتار فوق السطح. وفي بعض الأماكن يستعمل الماء المتدفق من الآبار الارتوازية في ادارة الدوايب المائية، غير ان حفر آبار اخرى خلال نفس الطبقة المائية يعمل على خفض الضغط مما يتسبب في اختفاء الظاهرة الارتوازية ويجعل من الضرورة ضخ الماء الى السطح. وعلى مستوى آخر يمكن اعتبار شبكة

مستوى الضغط وعموما كلما ازدادت المسافة من منطقة إعادة التشبع (المنطقة التي يتسرب فيها الماء الى الطبقة المائية المائلة) كلما زادت قوة الاحتكاك وقل ارتفاع الماء. ففي الشكل ( 10 - 10 أ) البئر رقم (1) بئر ارتوازية غير متدفقة حيث ان مستوى الضغط في موقعها يكون تحت مستوى سطح الأرض. وعندما يكون مستوى الضغط فوق مستوى سطح الأرض فان البئر المحفورة الى الطبقة المائية في تلك المنطقة تكون بئراً ارتوازية متدفقة (البئر رقم 2) شكل 10 - 10 ب. وتجدر الإشارة هنا الى ان الانظمة الارتوازية لا تقتصر على الآبار بل تشمل أيضا العيون. وفي



مياه المدينة كحالة ارتوازية صناعية (شكل 10 - 12). وهنا تعمل خزانات المياه التي يضخ الماء اليها كمناطق إعادة التشبع، بينما تشبه الانابيب الطبقة المائية المحصورة بين طبقتين لامائيتين. اما الحنفيات فتقابلها في الطبيعة الآبار الارتوازية.

### المشاكل المصاحبة لسحب المياه الجوفية

تشبه المياه الجوفية باقى الموارد الطبيعية فى الزيادة الكبيرة لمعدل استغلالها. وعليه فان عدم تقنين الاستفادة منها يهدد مصادرها، بالاضافة الى ان المشاكل العدة والباهظة التكاليف المصاحبة لعملية سحب المياه تزيد من تعقيد مشكلة تناقص الموارد المائية.

ولا تختلف الظروف المائية عن باقى النظم الطبيعية فى وصولها او محاولة الوصول الى وضع متعادل. ويمثل مستوى المنسوب المائى التوازن بين معدل الارتشاح ومعدل الدفق او السحب. وأى خلل بهذا التعادل سيؤدى الى ارتفاع او انخفاض مستوى منسوب الماء. وقد يؤدى الاخلال بالتوازن لمدة طويلة الى انخفاض كبير فى المنسوب المائى وذلك اما بحدوث نقص فى كمية التشبع الناتج عن الجفاف مثلا أو بزيادة معدل الدفق أو السحب. وكما يتوقع فقد ينخفض مستوى الماء فى مناطق عدة نتيجة للزيادة المستمرة فى السحب. وتعتبر هذه المشكلة ذات اهمية كبيرة فى المناطق



شكل 10 - 11

بئر ارتوازية جارية عند بداية هذا القرن. وقد نتج عن حفر آلاف الآبار خلال نفس الطبقة المائية الى اختفاء هذه الظاهرة الارتوازية بانخفاض الضغط داخل الطبقة المائية.



شكل 10 - 12

يمكن اعتبار شبكة مياه المدينة كنظام ارتوازى مائى.



مترا. وعليه قد انخفضت الأرض في بعض الأماكن بمقدار 3 أمتار والأمثلة الأخرى كثيرة. فقد تسببت الانخفاضات في الأضرار بالمباني وأنابيب المجارى والمياه وكذلك الطرق العامة. وقد يستلزم بناء الحواجز عند الشواطىء المتأثرة بعمليات الحسف لايقاف تقدم مياه البحر.

ولعل أكثر أمثلة انخساف الأرض اثاره ما حدث بمدينة المكسيك المشيدة فوق سطح بحيرة جافة. فقد تم حفر آلاف الآبار خلال النصف الأول من هذا القرن. ونتيجة لاستمرار سحب الماء من هذه الآبار فقد وصل انخساف الأرض في بعض اجزاء المدينة من 6 الى 7 أمتار، حيث ان هبوط مستوى بعض العمارات قد حتم تحويل مداخلها الرئيسية الى الدور الثانى.

## ② تداخل مياه البحر

تهدد مشكلة مياه البحر المصادر المائية في كثير من المناطق الساحلية، ولتفهم هذه المشكلة يتحتم تفحص العلاقة بين المياه الجوفية العذبة والمالحة. ويوضح الشكل (10 - 13 أ) هذه العلاقة بقطاع بمنطقة مبطنة برسويات متجانسة ونفاذة. وحيث ان كثافة المياه العذبة اقل من المياه المالحة فانها تطفو فوق المياه المالحة مكونة ما يشبه شكل العدسة ممتدا في بعض الأحيان الى اعماق كبيرة. وفي هذا الوضع اذا ما كان مستوى المنسوب المائى يقع على ارتفاع 1 متر فوق مستوى سطح البحر فان قاعدة الماء العذب تمتد الى حوالى 40 مترا تحت سطح البحر. اى ان عمق الماء العذب تحت مستوى سطح البحر يقدر بحوالى اربعين ضعفا لارتفاع مستوى المنسوب المائى فوق سطح البحر. وعليه فان هبوط مستوى المنسوب المائى بقدر معين يعمل على ارتفاع قاعدة الماء العذب بمقدار اربعون ضعفا. واذا ما استمر تفوق كمية السحب على اعادة التشبع سيرتفع مستوى الماء المالح الى ان يصل داخل الآبار مفسدا محتواها من المياه العذبة (شكل 10 - 13 ب)، حيث تتأثر أولا الآبار العميقة والآبار الاكثر قربا من الشاطئ.

الجافة والشبه جافة التى تعتمد على المياه الجوفية في احتياجاتها الزراعية والصناعية. وفي الكثير من الاماكن تشبه عملية ضخ الماء عملية التعدين من المناجم بحيث انه اذا توقف ضخ المياه فورا من هذه المناطق فان مخزون المياه الجوفية لن يرجع الى وضعه الأول لقرون عدة قادمة. والمثال التالى يوضح ذلك:

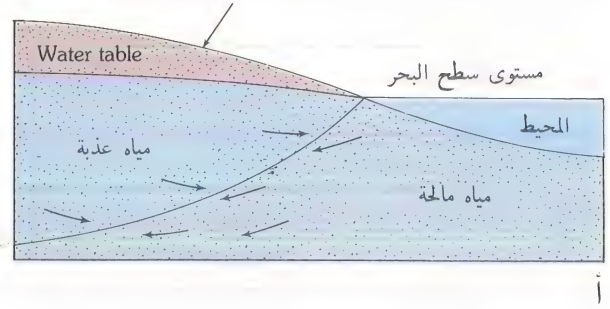
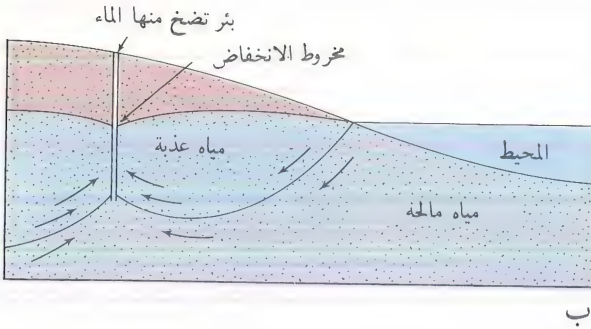
لنأخذ منطقة جافة لا يزيد فيها التشبع على 5 مليمترا ومعدل ضخ يساوى 60 سنتيمترا في السنة فاذا تم ضخ جميع محتويات الطبقة المائية سنجد معدل الضخ السنوى يساوى ما مقداره 120 سنة من التشبع. اى ان 10 سنوات من الضخ ستزيل ما مقداره تراكم مائى لمدة 1200 سنة. وعليه فان اى اعادة للتشبع اثناء الضخ لن يكون لها قيمة. ويجب ملاحظة هنا ان المشاكل التقنية والاقتصادية تحول دون ضخ مخزون الطبقة المائية بالكامل. غير ان هذا المثال صحيح من ناحية المبدأ.

## ① الانخساف

كما سنرى في هذا الفصل ان انخساف سطح الأرض يمكن ان يحدث طبيعيا نتيجة لعوامل لها علاقة بالمياه الجوفية. فقد يغور سطح الأرض قبل ان تتمكن المياه اعادة التشبع من ملء الفراغ الناتج عن الكميات المسحوبة. وتنتشر هذه الظاهرة في المناطق المتميزة بطبقات سميكة وغير متأسكة من الرسوبيات. وعند السحب يقل ضغط الماء بالطبقات المائية مما يدفع وزن الطبقات العليا الى ردم الرسوبيات التى تحتها وبالتالي في انخساف سطح الأرض.

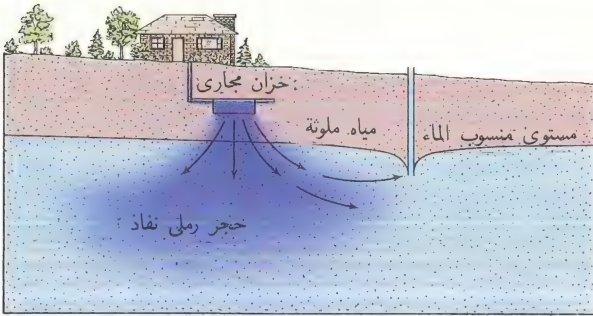
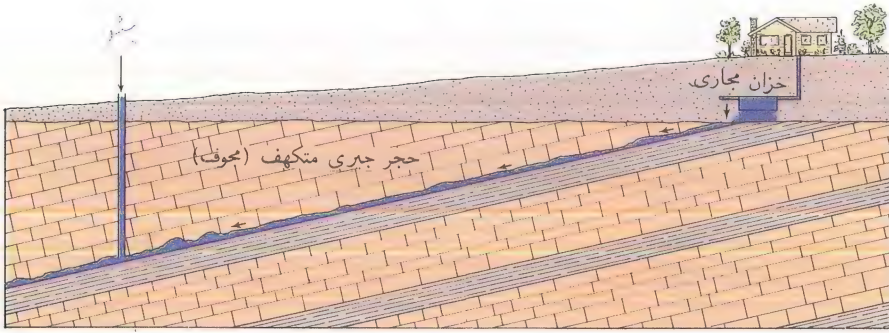
وكثيراً من المناطق يمكن استعمالها كأمثلة عن ظاهرة الحسف الناتجة عن عملية الاسراف في سحب المياه من الرسوبيات الغير متأسكة نسبيا. ففي منطقة سان جوان بكاليفورنيا مثلا تسبب سحب المياه من أجل الرى في الانخفاض التدريجى لمستوى المنسوب المائى بمقدار 30





شكل 10 - 13

(أ) - حيث أن المياه العذبة أقل كثافة فانها تطفو فوق المياه المالحة مكونة عدسة والتي قد تمتد تحت مستوى سطح البحر. (ب) - عندما يزيد الضخ فان مستوى المنسوب المائي ينخفض مما يدفع عمق الماء بما قيمته 40 ضعفا وبالتالي تداخل مياه البحر.



0 10  
أمتار

شكل 10 - 14

(أ) - بالرغم من حركة الماء ما يقارب 100 متر قبل وصوله البئر رقم (1) الا ان التجاويف بالحجر الجيري جعلته يتحرك بسرعة وبالتالي عدم تنقيته. (ب) - حيث أن الطبقة المائية مكونة حجرا رمليا فانها تقوم بتنقية الماء خلال بضعة أمتار.

ولتصحيح هذه المشكلة يمكن حفر مجموعة آبار ل يتم إعادة ضخ الماء الزائد عن طريقها الى خزانات المياه الجوفية. ويتم كذلك بناء خزانات على السطح لتجميع مياه الأمطار، ثم تركها لتنفذ الى باطن الأرض. فقد تم تطبيق

وفي المناطق الساحلية ذات النشاط العمرانى تزيد مشكلة الضخ تعقيدا عند اقترانها بالانخفاض فى عملية إعادة التشبع الناتجة عن تغطية مساحات واسعة برصف الشوارع ومحطات الوقود واقامة المباني.



(15 -). وما يجب تذكره ان زيادة معدل سرعة المياه الجوفية يزداد كلما زاد انحدار المنسوب المائي.

وقمثل كذلك مواقع تفريغ النفايات مصدراً آخر للتلوث قد يهدد مصادر المياه الجوفية بمناطق تواجدها. فعند هطول المطر يعمل الماء المتسرب خلالها على اذابة مواد عضوية وغير عضوية مختلفة والتي قد يكون من بينها ما هو ضار. وحيث ان المياه الجوفية بطيئة الحركة فقد لا تكشف هذه المواد الا بعد تسربها بمدة طويلة. وعند اكتشافها ستكون كمية المياه الملوثة ضخمة وحتى اذا ما تم الاستغناء عن هذا المصدر الملوث (في كثير من الاحيان لا يحدث ذلك) فان المشكلة ستبقى لسنوات طويلة، حتى يتم ابتعاد المياه الملوثة عن تلك المنطقة.

## العيون الساخنة والحمات والطاقة الحرارية الأرضية

### العيون الساخنة

ترتفع درجة حرارة العيون الساخنة من  $6^{\circ}\text{C}$  -  $9^{\circ}\text{C}$  م عن المعدل السنوي لدرجة حرارة الهواء الجوى بمنطقة تواجدها. وتوجد اعداد هائلة من هذه العيون في مناطق عدة من العالم حيث تبلغ في بعض البلدان الألف في عددها .

ولقد تبين من التنقيب عن المعادن ومن آبار النفط ان درجة الحرارة تزيد بزيادة العمق وذلك بمعدل درجتين مئويتين كل مائة متر. وعليه فان المياه المارة بطبقات على اعماق كبيرة ترتفع درجة حرارتها، وقد تصل المياه ساخنة الى السطح. وتزيد درجة الحرارة في مثل هذه الحالات بمعدل  $2^{\circ}\text{C}$  م في كل 100 متر. اى عند وصول المياه الى اعماق كبيرة ترتفع درجة حرارتها وعند وصولها الى السطح تخرج على شكل عيون ساخنة. وقد وجد مشلا في شرقى الولايات المتحدة الأمريكية ان العيون الساخنة تتم عملية تسخين مياهها بهذه الطريقة. غير أن 95 في المائة من العيون الساخنة (والحمات) في تلك البلاد تتواجد في غربها. والسبب

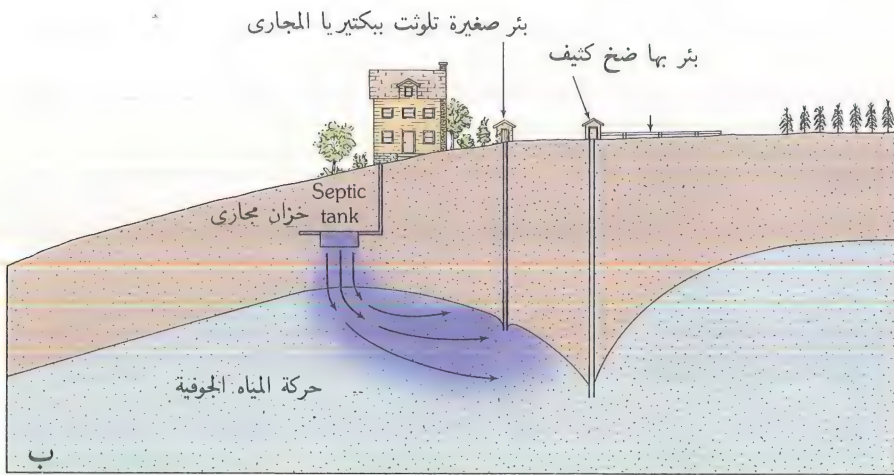
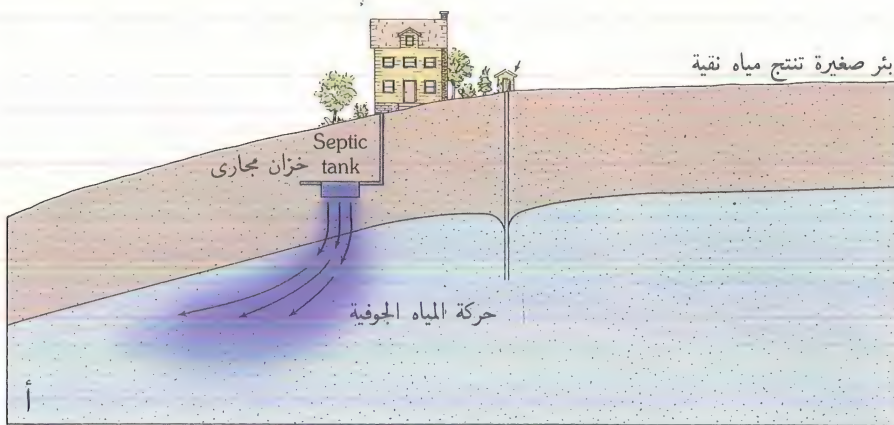
هاتين الطريقتين بشئ من النجاح في جزر اللونج حيث تم تفهم مشكلة تدأخل مياه البحر منذ 40 سنة.

## تلوث المياه الجوفية

تعتبر مشكلة المياه الجوفية ذات أبعاد خطيرة وخاصة في المناطق التي تعتمد اساسا على المياه الجوفية كمصدر اساسي لها. واكثر انواع التلوث انتشارا تلك التي لها علاقة بمخلفات المجارى. وعادة ما يكون مصدر هذا التلوث خزانات المجارى المتزايدة في عددها يوما بعد يوم، بالاضافة الى شبكات المجارى غير الملائمة ورمى المخلفات في الفضاء الطلق.

وتحدث عملية تطهير المياه الملوثة بالبكتيريا طبيعيا حيث يتم تصفيتها بواسطة الرسوبيات التي يتخللها الماء او قد يتم القضاء عليها بواسطة اكسديتها كيميائيا بالاضافة الى استهلاكها بواسطة الكائنات الحية الاخرى. غير ان الظروف المحيطة بالطبقة المائية يجب ان تكون ملائمة لعملية التنقية. فالطبقات ذات النفاذية العالية التي قد تنتج عن الصخور البلورية المشققة ورسوبيات الحصى أو فجوات الصخور الجيرية يمكن ان تمر من خلالها المياه الملوثة دون تنقية حيث ان الماء يتخللها بسرعة من غير ان يكون له الوقت للملامسة ما حوله. هذه هى مشكلة البئر رقم (1) في الشكل 10 - 14 . وبالعكس من ذلك فان الطبقات المائية المكونة من الرمال أو الصخور الرملية النفاذة يمكن ان يتم تطهير المياه المارة بها لمسافات قصيرة قد تبلغ احيانا بضعة عشرات من الامتار. فال فراغات من حبيبات الرمل تسمح للماء بالمرور ولكن ببطء كاف لتطهيرها (البئر رقم (2) شكل 10 - 14).

وفى بعض الأحيان قد تؤدي مشكلة الضخ الى استحدث مشكلة التلوث. فعند ضخ كمية كافية من الماء خلال احد الآبار. فان مخروط الانخفاض سيزيد من شدة ميل المنسوب المائى وربما يعكس اتجاه ميلها مما يتسبب في تلوث الآبار التي كانت مياهها صالحة للاستعمال (شكل 10



شكل 10 - 15

(أ) - كانت أولا محتويات خزان المجارى تتحرك بعيدا من البئر الصغيرة. (ب) - زيادة الضغط في البئر الثانية تسببت في تغير ممال المنسوب المائى مما جعل محتويات خزان المجارى تتحرك تجاه البئر الصغيرة.

وايسلندة تحت تسميات تختلف ولكنها تعنى في مجملها المتدفقات.

في هذا التوزيع ان مياه هذه العيون تستمد حرارتها من عملية التبريد التي تمر بها الصخور النارية في تلك المناطق.

### الحمّات

الحمّات نوع من اشكال العيون الساخنة أو النافورات التي تدفع بقوة وعلى فترات اعمدة من الماء غالبا ما تتراوح في ارتفاعها بين 30 و 60 مترا. وبين فترات توقف دفع الماء ينطلق عمود من البخار عادة ما يكون مصحوبا بقرقعة. اما اشهر الحمّات في العالم فقد تكون حمة منتزه اليلوستون بأمريكا والتي تندفع تقريبا كل ساعة (شكل 10 - 16). كما توجد الحمّات بأماكن اخرى من العالم مثال نيوزيلندة

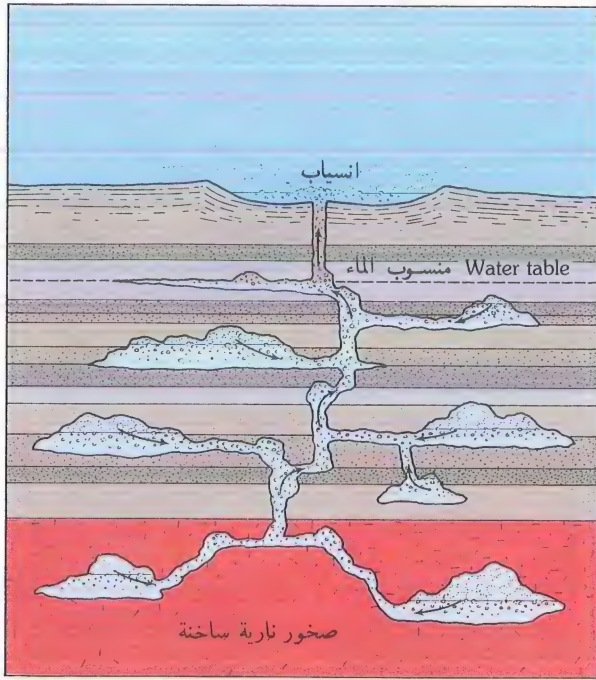
وتتكون الحمّات بتسخين المياه الباطنية في تحييف ارضي تكون المياه في قاعها تحت ضغط مرتفع بفعل تأثير ضغط المياه التي تعلوها وبالتالي يلزم لغليانها درجة حرارة اعلى من 100° م. فمثلا عند قاع احد التجويفات البالغ عمقها

شكل 10 - 16

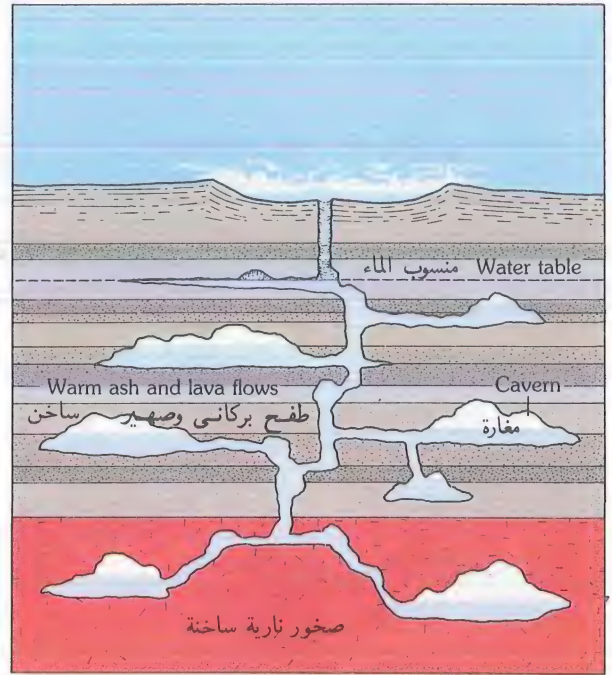
أولد فيتفول - من أشهر حمّات العالم وهو يدفع بحوالى 45,000 لتر من المياه الساخنة والبخار كل ساعة تقريبا.







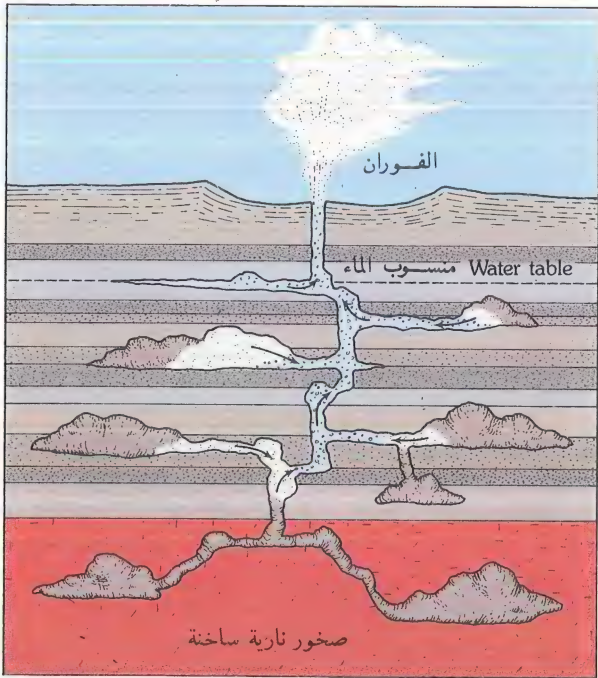
ب



أ

شكل 10 - 17

رسم تخطيطي لحمة مثالية. تحدث الحمّات ما لم تتوزع المياه بواسطة تيارات الحمل. (أ) - ترتفع درجة حرارة الماء بقرب القاع عند نقطة تقارب درجة الغليان وهي أعلى منها عند السطح وذلك لزيادة الضغط تحت تأثير وزن الماء الذي يعلوه. (ب) - ترتفع كذلك درجة حرارة الماء أعلى تركيبة الحمة مما يعمل على تمدده ومن ثم انسيابه على السطح مخففاً من الضغط أسفل الحمة عند القاع. (ج) - عند انخفاض الضغط يحدث الغليان ويندفع على هيئة بخار مما يتسبب في فورانها وتفجيرها.



ج

300 متر يلزم لغليان الماء درجة حرارة تبلغ 230° م. وحيث ان ارتفاع درجة الحرارة ينتج عنه تمدد الماء وبالتالي وصوله الى السطح تحت ضغط اقل فانه يتحول فوراً الى بخار ماء متدفق كحمة (شكل 10 - 17). وبعد ذلك تتسرب المياه الجوفية الباردة الى التجويف الأرضي مرة أخرى لتبدأ الدورة من جديد. وحيث ان للماء الساخن قدرة اكبر على الاذابة من الماء البارد فان مياه الحمّات والعيون الساخنة





شكل 10 - 18

الترسبات المعدنية تحيط عيون الماموت الساخنة.



شكل 10 - 19

استغلال الطاقة الحرارية الأرضية  
بالمكسيك.

## الآثار الجيولوجية للمياه الجوفية

تغطي الصخور القابلة للذوبان وخاصة الحجر الجيري ملايين الكيلومترات المربعة. وتقوم المياه الجوفية بدور رئيسي في تعريتها وذلك باذابة هذه الصخور. فالصخور الجيرية غير القابلة تقريبا للذوبان في المياه النقية يمكن اذابتها اذا ما حوت المياه المؤثرة فيها نسبة قليلة من حامض الكربونيك. وذوبان ثاني اكسيد كربون الهواء الجوى أو الناتج عن تحلل النباتات يزود معظم المياه الطبيعية بهذا الحامض الضعيف. وعند مرور المياه الجوفية بالصخور الجيرية يتفاعل حامض الكربونيك مع كالسيت هذه الصخور معطيا بيكربونات الكالسيوم القابلة للذوبان في الماء. وبالتالي يتم نقلها بواسطة المياه الجوفية المتحركة.

### المغارات

من أشهر أعمال التعرية للمياه الجوفية تكوين المغارات بالصخور الجيرية. والمغارات متباينة الاحجام بعضها صغير والبعض الآخر كبير جدا. فمثلا احد التجاويف بمغارة كارلسباد بنيومكسيكو تتسع الى اكثر من اربعة عشر ملعبا لكرة القدم. وارتفاع يسع مباني ناطحات السحاب والمثل الثانى مغارة الماموت بكونتاكى والتي يبلغ طول تجاويها المتصلة خمسون كيلومترا.

ويعتقد ان معظم المغارات قد تكونت عند او تحت المنسوب المائى بالنطاق المشبع، حيث يتتابع مرور المياه الجوفية بمواقع الضعف في الصخور مثال التصدعات والسطوح الطبيعية. وبمرور الوقت تستمر عملية اذابة الصخور في مناطق الضعف وتتكون فجوات تتسع ببطء حاملا الماء المواد المذابة منها الى مجارى تصريف المياه الطبيعية. وبالطبع فان من اهم المعالم التى تشير فضول زائري هذه المغارات، المظهر المدهش الذى تشكله من ظاهرة تنقيط الماء بتجويف المغارة على مدى طويل مرسباً صخر الترافرتين الذى غالبا ما يعرف بحجر القطر اشارة واضحة الى اصل تكوينه.

تحمل مواد ذائبة كثيرة. فالمياه الغنية بالسليكا ترسب الجيزاريات حول العين اما الترافرتين (نوع من الكالسيت) فهو يميز العيون الساخنة بمناطق الاحجار الجيرية (شكل 10 - 18). اما مياه العيون الحارة للكبريت فان طعمها غير مستساغ للشرب زيادة على انبعاث رائحة البيض الفاسد منها. وهى الرائحة المميزة للغازات الكبريت. وبما لا شك فيه ان ما تعرف بعين البيض الفاسد بولاية نيفادا الأمريكية مثال لذلك.

### الطاقة الحرارية الأرضية

كثير من الحمّات حول العالم تمثل مواقع كافية طاقة الحرارة الأرضية يمكن الاستفادة منها لتوليد الطاقة. ففي نيوزيلندا وإيطاليا والمكسيك والاتحاد السوفيتى وأمريكا يستفاد من اندفاع ابخرة الحمم في توليد الطاقة الكهربائية (شكل 10 - 19). وبالنظر الى العوامل الجيولوجية التى تعمل على توفير الظروف المناسبة لتواجد الطاقة الحرارية الأرضية ذات القيمة الاقتصادية وجد ان من اهمها:

- (1) مصدر حرارى فعال كتجويف كبير من الصهير على عمق مناسب لتوفير ضغط مرتفع كافٍ ومعدل برودة بطيء. غير ان الاعماق الشديدة قد تسبب في كبح القدرة الطبيعية للدورة المائية.
- (2) خزانات طبيعية كبيرة ذات مساحة متصلة بالمصدر الحرارى عن طريق قنوات يمكن للماء ان يدور بقرىها قبل تجمعه في الخزانات.
- (3) غطاء طبقي بصخور غير نفاذة لمنع انسياب الماء وفقدان الحرارة الى السطح. فالخزانات المعزولة العميقة يرجح احتوائها على طاقة حرارية اكبر من مثيلاتها غير المعزولة.

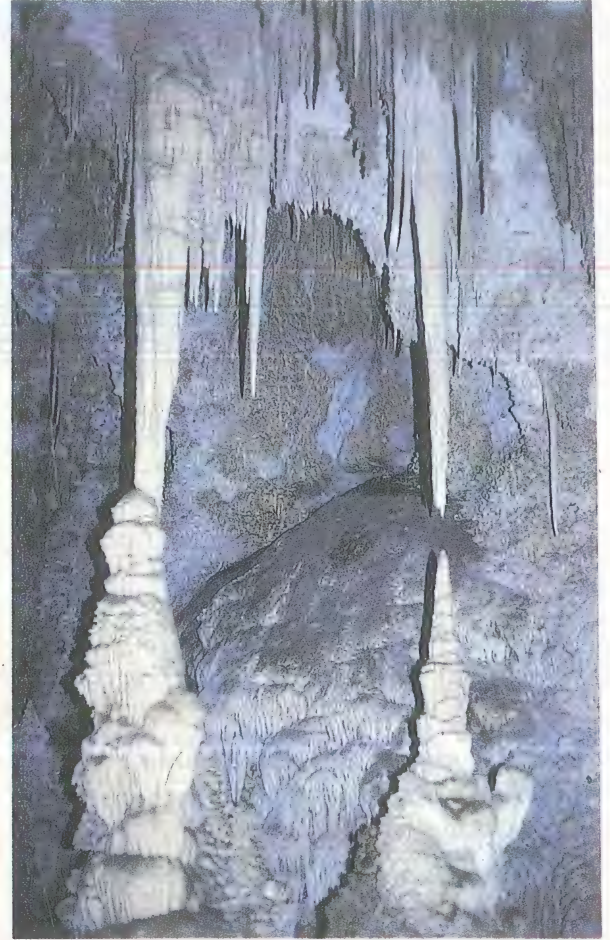
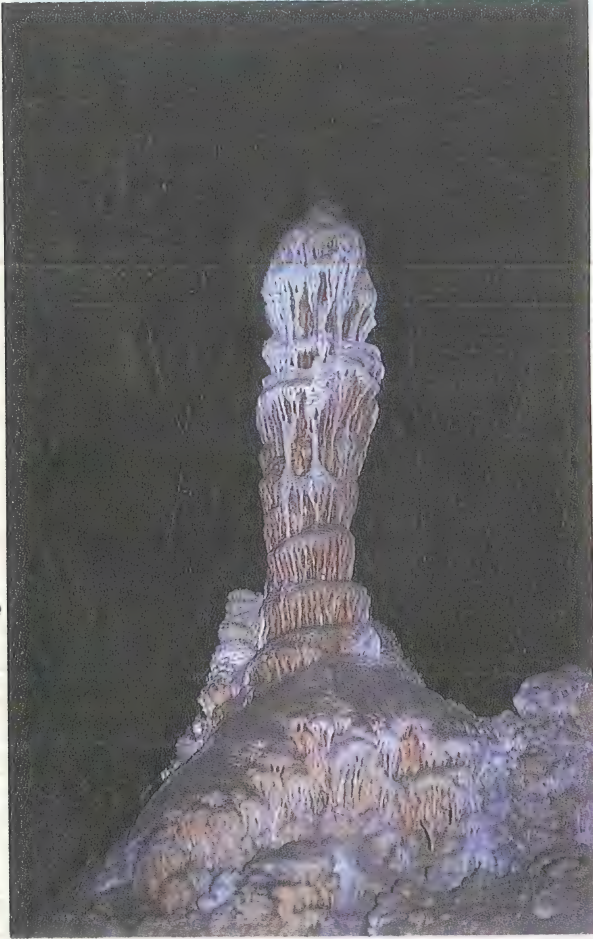
وبالرغم من اننا ما زلنا لا نستطيع ان نحكم على مدى فاعلية البخار الطبيعى في سد جزء من احتياجات العالم للطاقة الكهربائية، غير ان الحاجة لاستحداث مصادر جديدة للطاقة تحتم محاولة الاستفادة منها.



خاص ومميز لا يماثل تماماً أى من الأشكال الأخرى (شكل 10 - 20). ومن أكثر احجار القطر شيوعاً تلك التى تعرف بالهوابط وهى تشبه الدلاهِ الجليدية معلقة بأسقف المغارة حيث ينساب الماء قرب مواقع التشقق. وعند ملاسة الماء للهواء بالمغارة ينطلق البعض من ثانى اكسيد الكربون الذائب وذلك عن طريق البخس، ويتم ترسيب كربونات الكالسيوم المتبقية على شكل دائرة حول حافة قطرات الماء. ومع كل قطرة يتسرب قليل من الكالسيوم مكوناً انبوبة مجوفة من الحجر الجيرى. ويستمر الماء فى نزوله نظيفاً الى

وبالرغم من ان المغارات تتكون فى النطاق المشبع الا ان تكوينات الصخور المترسبة داخلها لا يمكن ان تتراكم الا بعد ان تصبح المغارة فوق هذا المستوى، اى داخل النطاق الهوائى وهذا غالباً ما يحدث اذا ما قطع النهر فى مجراه مسبباً نزولاً فى المستوى المائى تبعاً لمنسوب النهر. وبمجرد امتلاء المغارة بالهواء تكون جاهزة لمرحلة بنائها وزخرفتها من الداخل.

واحجار القطر الموجودة فى المغارات على اختلاف اشكالها تعرف بالسبيليوتيم ويلاحظ ان لكل منها شكل



شكل 10 - 20

السبيليوتيم أنواع عدة من الترسبات تشمل الهوابط والصواعد والأعمدة. الكهف الجديد بنيومكسيكو.





شكل 10 - 21

(أ) - شاروقة كالسيت منفردة. (ب) - مجموعة شاروقات بمغارة كارلسباد.

### طبوغرافية الكارست

تعرف طبوغرافية الكارست بأماكن عديدة من العالم. وهي منخفضات تتكون بفعل قدرة المياه الجوفية على إذابة الصخور. وقد اشتق هذا الاسم من سهل يقع بالشمال الغربى للبحر الأدرياتيكي على الحدود بين إيطاليا ويوغوسلافيا، حيث ان هذه السيات الطبيعية كثيرة الانتشار. وهي بصورة عامة لا تتكون فى المناطق الجافة ولا شبه الجافة. أما وجودها فى مثل هذه المناطق فيدل على غناها بالمياه فى وقت من الأوقات. وتتميز مناطق الكارست بتوزيع غير منتظم لمنخفضات تسمى بالوعدات.

نهايتها ببطء حتى يصل الى أرضية المغارة. ويطلق على هذه الأنابيب مجازاً شاروقة المشروبات (شكل 10 - 21). وهي غالباً ما تسند نهايتها أو تزيد كمية الماء المناسبة حواليتها مرسبة على سطحها الخارجى المزيد من الكالسيت. وبمرور الزمن تأخذ شكلها المخروطى المألوف.

أما رسوبيات القطر الأخرى الشائعة فهي التى تتراكم على القاع متجهة الى اعلى وتعرف بالصواعد. وهي تتكون من رسوبيات الكالسيت المحمول مع قطرات الماء المتساقطة على أرضية المغارة وعليه فان الصواعد مصمته أى غير مجوفة، كما انها أكثر دائرية فى مظهرها عند نهايتها من الهوابط.



سيارات الى جانب طريق. وعموما فان تكوّن هذه البالوعات ليس بغريب عن هذه المنطقة. فالبالوعة المذكورة اعلاه كانت احد ثلاثة بالوعات تكوّن في ظرف اسبوعين. ويعتقد ان تكوّنهما له علاقة بانخفاض مستوى منسوب الماء عقب فترة جفاف. فانخفاض مستوى المنسوب المائي ترك اسقف هذه التجاويف من دون سند مما تسبب في تدهورها.

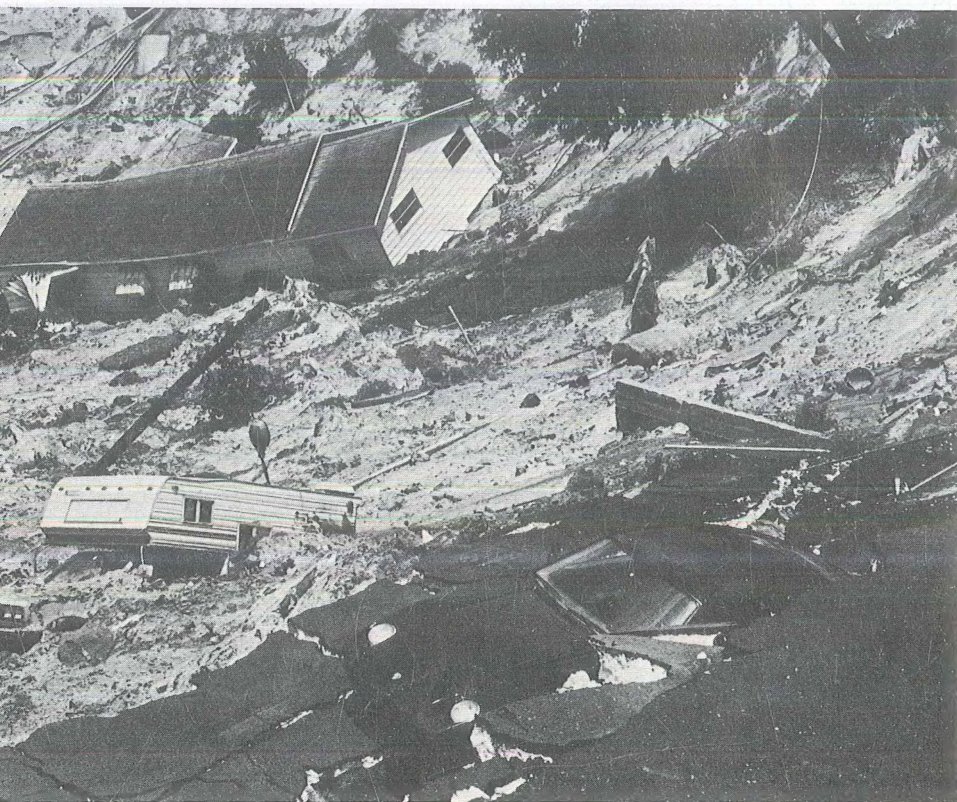
وتتميز مناطق البالوعات بغياب نظام صرف مائي على السطح. وتقوم البالوعات بتصريف مياه الأمطار الى المنسوب المائي. وعند وجود مجارى تصريف سطحية فانها تكون قصيرة جدا وعادة ما تعكس اسماءها وواقع حالها، مثال الجداول المطمورة والرافد المطمور وغيرها. وقد يتم سد بعض البالوعات بالطين وحطام الصخر حيث تتكوّن مستنقعات وبحيرات صغيرة.

وتتكون البالوعات بأحدى طريقتين. فبعضها يتكون بالتدريج على مدى سنوات عدة دون اى تأثير على وضع الصخور. وفي هذه الحالة تذاب الصخور الجيرية الواقعة تحت التربة مباشرة بواسطة مياه الامطار المتسربة والحاوية على شحنات جديدة من ثانى اكسيد الكربون. وتتميز هذه المنخفضات بضحالتها وقلة انحدارها. وعلى العكس من ذلك فان البالوعات يمكن ان تتكون فجأة عند تهاوى اسقف الكهوف تحت ضغط وزنها. وعادة ما يكون هذا النوع من البالوعات عميقاً وشديد الانحراف عند الجوانب. وقد تسبب هذه الانخفاضات كارثة جيولوجية عند حدوثها في مناطق مأهولة بالسكان. ويوضح الشكل 10 و 22 بالوعة تكونت في حديقة ونتر بفلوريدا بتاريخ 8 مايو 1981، وذلك قبل اخذ هذه الصورة بيوم واحد. وقد تسببت هذه البالوعة في هدم منزل وحوض سباحة المدينة ومجموعة سيارات وموقف





ا



ب

شكل 10 - 22  
 (أ) - منظر جوي لبالوعة حديقة ونتر  
 في شهر الماء (مايو) سنة 1981 م.  
 (ب) - منظر قريب لبالوعة حديقة  
 ونتر .



## أسئلة

## للمراجعة :

- 1 - قارن بين النطاق الهوائي والنطاق المشبع . فى أى هذين النطاقين توجد المياه الجوفية؟
- 2 - عادة ما يكون خط المنسوب المائى غير افقى . فسر ذلك .
- 3 - ما هو النهر المتأثر؟ وبماذا يختلف عنه النهر المؤثر؟
- 4 - ميز بين المسامية والنفاذية .
- 5 - ما الفرق بين الطبقة المائية واللامائية؟
- 6 - تحت أى ظروف تكون الطبقة لامائية بالرغم من مساميتها العالية؟
- 7 - كما هو مبين بالشكل 5-10 فان الماء عادة ما يتحرك فى مسارات ملتوية . ما هى العوامل المسببة لاتباع مثل هذه المسارات؟
- 8 - اشرح باختصار دور هنرى دارسى فى تبلور مفهوم حركة المياه الجوفية .
- 9 - عند وجود طبقة لامائية فوق مستوى المنسوب المائى يتكون نطاق مشبع محدود . ماذا تسمى هذه الظاهرة؟
- 10 - جارين قام كل منهما بحفر بئر . وبالرغم من ان البئرين متساويان فى العمق فقد وجد احدهما الماء ولم يوفق الآخر . اشرح الظروف التى قد تكون سببا فى ذلك .
- 11 - ما المقصود بكلمة ارتوازى؟
- 12 - ما هما الشرطان اللازم توفرهما لتكوين وضع ارتوازى؟
- 13 - ما السبب وراء اختفاء الظاهرة الارتوازية فى منطقة ما؟
- 14 - لماذا يشكل ضخ الماء مشكلة فى بعض المناطق الجافة وشبه الجافة؟
- 15 - اشرح ماذا حدث فى مدينة المكسيك نتيجة لسحب الماء بكميات كبيرة؟
- 16 - فى منطقة ما يصل مستوى المنسوب المائى الى 4 أمتار فوق مستوى سطح البحر . فالى أى عمق تحت مستوى سطح البحر تتوقع أن تصل المياه العذبة؟
- 17 - لماذا تقل عملية تشبع الخزانات الجوفية من المياه العذبة فى المناطق المتطورة عمرانيا؟
- 18 - أى الطبقات المائية اكثر فاعلية فى تنقية المياه الجوفية الملوثة : الحصى الخشن ، الرمل ، الحجر الجيرى المجوف؟



- 19 - ما هو مصدر الحرارة لمعظم الينابيع الساخنة والحمّات؟ كيف ينعكس ذلك على توزيع هذه الظواهر؟
- 20 - اذكر أهم نوعين من الظواهر التي توجد بالمغارات وقارن بينهما .
- 21 - تتكون رسوبيات المغارة في النطاق المائي . ناقش هذه العبارة متعرضا بالشرح الى مدى صحتها من عدمه .
- 22 - ماذا تسمى الظواهر الطبوغرافية الناتجة عن تعرية المياه الجوفية؟
- 23 - اذكر طريقتين لتكوّن البالوعات .

## الكلمات الدالة :

effluent stream	مجرى مائي متأثر	artesian	ارتوازي
influent stream	مجرى مائي مؤثر	sinkhole	بالوعة
cone of depression	مخروط الانخفاض	well	بئر
head	مسافة رأسية	nonflowing artesian well	بئر ارتوازية غير جارية
porosity	مسامية	geyser	حمّة
cavern	مغارة	capillary fringe	خاصية الأنابيب الشعرية
hydraulic gradient	ممال مائي	speleothem	سبيلوتيم
water table	منسوب الماء	stalagmite	صواعد
perched water table	منسوب مائي معلق	geothermal energy	طاقة حرارة ارضية
groundwater	مياه جوفية	aquifer	طبقة مائية
underground water	مياه باطنية	aquiclude	طبقة لامائية
drawdown	نزول مستوى منسوب الماء	karst topography	طبوغرافية الكارست
belt of soil moisture	نطاق التربة المشبع	hot spring	عين ساخنة
zone of saturation	نطاق التشبع	spring	عين مائية
zone of aeration	نطاق التهوية	Darcy's law	قانون دارسي
permeability	نفاذية		
stalactite	هوابط		